MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI

BOLLETTINO ICR

ISTITUTO CENTRALE PER IL RESTAURO

2002

DOSSIER

La documentazione digitale
da Michelangelo
a Cimabue

CONTRIBUTI

I monocromi di Mario Schifano

Consolidamento strutturale
di legni archeologici essiccati

Il degrado biologico di alcuni prodotti
derivati del legno da utilizzare
in aree archeologiche

RECENSIONI

Rassegna di studi
sul restauro dei dipinti
nel secondo Ottocento

© 2002 ICR
Istituto Centrale per il Restauro
Piazza San Francesco di Paola, 9
00184 Roma - Tel. 06.488961
e-mail: icr@arti.beniculturali.it

Spedizione in abbonamento
postale, 45%, art. 2
comma 20/b, legge 662/96
Direz. Fil. Firenze
tassa riscossa/taxe perçue

NARDINI EDITORE

NUOVA SERIE N. 5 LUGLIO/DICEMBRE 2002

Bollettino ICR

Nuova serie · n. 5 · 2002

MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI
ISTITUTO CENTRALE PER IL RESTAURO

© 2000-2001-2002 ICR
Istituto Centrale per il Restauro
Piazza San Francesco di Paola, 9
00184 Roma
Tel. 06.488961
Fax 06.4815704
E-mail: icr@arti.beniculturali.it

© 2000-2001-2002 *per l'edizione*
Nardini Editore
Piazza della Signoria srl
Piazza della Repubblica, 2
50123 Firenze

Servizio Abbonamenti
Tel. 055.2385525
Fax 055.2385529
E-mail: info@nardinieditore.it

Direttore Responsabile
Caterina Bon Valsassina

Redazione
Maria Cristina Berardi
Maria Grazia Flamini
Anna Maria Marcone
Caterina Pileggi
Gabriella Prisco
Giulia Tamanti

Segreteria di redazione
Maria Neve Cavallari
Fiammetta Formentini

Traduzioni
Adrian James

Copyright per testi e immagini
Istituto Centrale per il Restauro

Design
Ennio Bazzoni
Francesco Bertini

Coordinamento editoriale
Andrea Galeazzi
Ennio Bazzoni

Coordinamento tecnico
Paola Bianchi

Iscrizione Tribunale di Firenze
n. 5319 del 19.01.2004

La pubblicità non supera il 45%

Spedizione
in abbonamento postale

ISSN 1594-2562

Periodico semestrale
ISBN 88-404-5063-7

Una copia Euro 36,00
Arretrato Euro 41,00

Abbonamento a 2 numeri
Euro 67,00
(Europa: Euro 72,00)

Impianti cromatici
Fotolito Toscana, Firenze

Stampa
G.I.G., Iolo, Prato

Le immagini in copertina (dall'alto):
- esempio di documentazione grafica;
- sezione sottile di lamellare in abete;
- ritratto di Pettenkofer verso il 1900.

Dove non diversamente indicato le foto pubblicate sono degli autori.

Indice

Bollettino ICR
Nuova serie • n. 5 • 2002

DOSSIER

Editoriale *Pagina* 4

La documentazione digitale da Michelangelo a Cimabue
G. Buzzanca, F. Piqué 7

L'illusione dei beni digitali
S. Settis 18

Archeologia e informatica: fra tradizione e rinnovamento
P. Moscati 21

Documentazione digitale nel restauro degli affreschi michelangioleschi della Cappella Sistina
F. Petrigniani 28

Simplifying AutoCAD for Restorers: Tradition and Innovation
S. Warrack 37

Documentation with CAD
H. Eiteljorg II 45

L'uso della tecnologia GIS richiede la standardizzazione della documentazione grafica
F.P. Di Giacomo 51

Metadati e risorse digitali
G. Cerica 58

From dots towards databases
F. Petrescu, E. Murariu 62

Realtà virtuale e modellazione spaziale del bene culturale: conoscenza e comunicazione
M. Forte 72

Modelli digitali 3D per la scultura
G. Accardo 82

La ricomposizione virtuale assistita di frammenti di pittura murale
G. Basile, G. Attolico, A. Distante, M. Malarasi 99

segue Indice

CONTRIBUTI

I monocromi di Mario Schifano
E. Antonelli, M. Rivier 115

Consolidamento strutturale di legni archeologici essiccati
C. Meucci 130

Il degrado biologico di alcuni prodotti derivati del legno da utilizzare in aree archeologiche
G. Galotta, M.P. Nugari, M.G. Flamini 139

RECENSIONI

Rassegna di studi sul restauro dei dipinti nel secondo Ottocento
F. Capanna 151

Abstract 155

Editoriale

In questo editoriale della rivista intendo affrontare un tema di interesse vitale per il futuro dell'Istituto centrale per il restauro e per chiunque operi, a vario titolo, nel settore.

L'Ufficio legislativo del Ministero per i beni e le attività culturali ha elaborato il disegno di legge n. S1955 Disciplina dell'insegnamento dei beni culturali *(il cui iter legislativo è iniziato nell'agosto 2002 ed è tuttora, a distanza di un anno, all'esame del Parlamento).*

Il disegno di legge è composto di 5 articoli che vanno dalla definizione della figura del restauratore *di beni culturali (art. 1), al tema dell'*insegnamento del restauro dei beni culturali *(art. 2), ai corsi di formazione per altri operatori del restauro dei beni culturali (art. 3), al* riordino delle scuole di alta formazione *(art. 4) fino alle disposizioni transitorie (art. 5). Per la prima volta è stato compiuto lo sforzo di definire entro un quadro unitario le esigenze di formazione nel settore del restauro da parte dei vari soggetti coinvolti e cioè il Ministero per i beni e le attività culturali (per le Scuole di alta formazione - SAF - come l'Istituto centrale per il restauro, l'Opificio delle pietre dure, l'Istituto di patologia del libro), l'Università, le Regioni.*

Su questo scottante e attualissimo tema si è aperto nell'anno in corso un dibattito, sia sulla stampa specializzata che in occasione di convegni, dal quale si evince la complessità e pluralità delle esigenze (spesso in reciproca contraddizione) fra i diversi protagonisti e futuri destinatari del già citato disegno di legge. Un esame degli orientamenti principali degli ultimi mesi 'attorno al restauro' e soprattutto attorno al DL proposto dal Ministero, può essere utile, speriamo, a dare una spinta positiva al futuro dibattito parlamentare, giacché, come si accennava sopra, la legge deve ancora completare il suo iter per essere valida.

All'inizio del 2003 Cristina Acidini, soprintendente dell'Opificio delle pietre dure di Firenze, ha pubblicato un editoriale nella rivista dell'istituto da lei diretto dal titolo La formazione del restauratore, oggi. *Attraverso un'attenta ricostruzione della cronistoria dei fatti principali che hanno totalmente modificato, nell'ultimo decennio, i connotati del quadro di riferimento relativo alla formazione e ai successivi sbocchi professionali per la figura del restauratore, il testo della collega illustra con allarmante lucidità la confusione e l'indeterminatezza della situazione attuale.*

Rispetto al disegno di legge, la posizione dell'Acidini, che condivido totalmente, sottolinea l'importanza dell'art. 2, comma 5, con il quale il diploma rilasciato dalle Scuole di alta formazione del Ministero è equiparato a quello di laurea specialistica conseguita dopo cinque anni, ma rileva anche come il medesimo comma attribuisca anche «ad altri soggetti pubblici e privati che siano accreditati presso lo Stato» il diritto a rilasciare diplomi. Tutto si giocherà, quindi, su come avverrà questo accreditamento e, soprattutto, quali saranno i soggetti preposti ad accreditare le scuole che formeranno i futuri restauratori di beni culturali.

Nel numero di marzo 2003 de "Il Giornale dell'arte", inoltre, è stato dedicato al tema del restauro un intero supplemento con contributi che spaziano dal mondo del Ministero

per i beni e le attività culturali (Acidini, Basile, Bon Valsassina, Codello, Nepi Scirè, Rubin de Cervin) a quello delle Regioni (Petraroia), da quello dell'Università e degli Istituti di ricerca (Bonsanti, Chiantore, Matteini, Zanardi) a quello dei restauratori (Borelli, Martellotti, Mora, ancora Zanardi).

Sullo specifico problema della formazione e del disegno di legge citato sopra sono da segnalare soprattutto gli interventi di Pietro Petraroia e di Bruno Zanardi. Quest'ultimo soprattutto, perché indica una strada che può forse apparire provocatoria a una lettura superficiale (trova sbagliata l'equipollenza del titolo di studio ICR, OPD, Università), ma che, a guardar meglio, restituisce agli istituti centrali il loro ruolo storico di 'autorità di vigilanza' (mutuando la definizione da quella dei lavori pubblici) dei percorsi formativi del settore, secondo un modello da costruire insieme. Posizione in parte condivisa anche da Petraroia, che auspica il rilancio degli istituti centrali del Ministero «come autorità indipendenti preposte alla ricerca e alla sperimentazione nel campo della conoscenza e della conservazione del patrimonio culturale».

È interessante, a questo punto, rivedere alla luce della situazione attuale come aveva affrontato il problema (scottante allora come ora) una proposta di legge presentata nel 1991 sulla costituzione delle scuole-laboratorio per la formazione dei restauratori (pubblicata in: ARGAN, BONFATTI, CHIARANTE, Dodici leggi per i beni culturali, *Roma, 1992, pp. 91-105). Le analogie, ma soprattutto le differenze fra le due proposte legislative dimostrano forse nel modo più efficace quanto sia mutato, nell'ultimo decennio, l'intero contesto nel settore del restauro dei beni culturali.*

La proposta del 1991 prevedeva: la costituzione di scuole-laboratorio regionali *con corsi triennali per la formazione dei restauratori secondo programmi e* linee di indirizzo indicate dall'Istituto centrale per il restauro *per tutto il territorio nazionale (Capo I, artt. 1-17); l'istituzione dell'*albo dei restauratori *(Capo II, artt. 18-27); le norme transitorie (Capo III, artt. 28-30). Era previsto un iter che andava dal momento della formazione a quello dell'immissione nel mercato del lavoro, strutturato abbastanza rigidamente per sbarramenti progressivi, che avrebbero così garantito, attraverso la costituzione dell'albo professionale, da un lato la diffusione in tutto il territorio nazionale di criteri omogenei per la formazione dei restauratori, dall'altro la successiva garanzia di qualità per l'affidamento dei lavori di restauro da parte delle soprintendenze e degli enti pubblici ed ecclesiastici. I diplomi delle Scuole di alta formazione erano stati parificati a quelli delle scuole universitarie a fini speciali.*

Riletta a distanza di oltre dieci anni, la proposta di legge del 1991 sembra quasi un reperto archeologico da quanto è mutato il quadro generale di riferimento, dall'organizzazione interna del Ministero per i beni e le attività culturali e dell'allora Ministero della pubblica istruzione, al ruolo delle Regioni in materia di formazione fino alla legge-quadro per i lavori pubblici (L. 109/94) e a quella per la qualificazione delle imprese (DM 420/01). A questo vanno aggiunti da un lato la proliferazione avvenuta negli ultimi dieci anni di ogni sorta di corsi di restauro, organizzati a vario titolo, spesso con finanziamenti

europei, da enti pubblici, soggetti privati, associazioni di categoria, dall'altro i corsi di laurea in Tecnologie per la conservazione e il restauro dei beni culturali *(classe 41) e in* Scienze dei beni culturali *(classe 13), attivati rispettivamente dalle facoltà scientifiche ed umanistiche delle Università (un elenco aggiornato è stato pubblicato sul numero del settembre 2003 de "Il Giornale dell'arte").*

Ora più di allora, perciò, diventa legittima la domanda: che fine faranno le Scuole di alta formazione del Ministero (ICR, OPD, ICPL), che rilasciano, al momento, un diploma che ha un valore giuridico inferiore a quello della laurea?

Tutto ruota, infatti, attorno a questo aspetto di importanza cruciale. Abbiamo infatti da un lato una selezione durissima per l'ammissione alle Scuole di alta formazione dello Stato (due prove pratiche, una prova orale) con un numero chiuso di 18 allievi al massimo per ogni anno, un insegnamento nei laboratori e nei cantieri di qualità alta, dove il rapporto docente/allievo, per gli insegnamenti pratici, è di 1 docente per 3, massimo 4 allievi per tre anni di base più uno di specializzazione. Dall'altro, però, il riconoscimento finale del titolo di studio è inferiore a quello rilasciato dall'università, alla quale, peraltro, si accede senza esami di ammissione. Perché un giovane dovrebbe preferire il massimo degli ostacoli col minimo dei riconoscimenti? E, infatti, un indicatore a conferma di un'inversione di tendenza a sfavore delle Scuole di alta formazione da parte degli studenti è la decisa flessione delle domande di ammissione al concorso dell'ICR, che dalle 800 circa dei primi anni Novanta sono calate a poco più di 200 negli ultimi due o tre anni.

Non solo, diventano sempre più pressanti le richieste – da parte delle Università – di stages formativi presso le SAF in vista della conclusione del primo triennio degli insegnamenti universitari delle classi 41 e 13, per consentire ai futuri laureati nelle discipline citate sopra, almeno un segmento di esperienza pratica d'eccellenza all'ICR o all'OPD. Uno scenario paradossale ma non improbabile del futuro prossimo potrebbe essere, perciò, che i restauratori delle SAF statali, con un diploma dal valore giuridico inferiore alla laurea specialistica, ma capaci di progettare, coordinare ed eseguire interventi di restauro complessi con una qualità professionale che ci viene invidiata da tutto il mondo, saranno considerati alla pari dei futuri laureati in beni culturali «dalle indistinte e inespresse professionalità» (Acidini).

In questo panorama complesso e ancora confuso, il disegno di legge n. S1955 è apparso come un'ancora di salvezza, una necessaria presa di coscienza dell'importanza del problema anche se, purtroppo, bisognava comunque, ormai, tener conto di quanto era successo negli ultimi dieci anni. Mi unisco perciò, con questo testo, all'auspicio della collega Acidini affinché la 'legge Urbani', come ormai viene chiamata in gergo, venga approvata dal Parlamento in tempi rapidi e che, successivamente, nella fase di elaborazione del regolamento, si possa ulteriormente affinare il tiro con l'obiettivo primario di concentrare la massima attenzione sulla tutela della professionalità di chi tutela materialmente (e non solo) il patrimonio artistico del paese.

Caterina Bon Valsassina

Giancarlo Buzzanca
Francesca Piqué

DOSSIER

La documentazione digitale da Michelangelo a Cimabue

«Chi sei tu» *disse il Bruco.*
Poco incoraggiante come inizio per una conversazione.
«Io... ora come ora non saprei, signore» rispose Alice alquanto timidamente, «al massimo potrei dirle chi ero quando mi sono alzata stamattina, ma da allora c'è stata una tale baraonda di cambiamenti».
«Che vuoi dire?» disse il Bruco severamente. «Spiegati».

LEWIS CARROLL[1]

Qualcuno mi ha detto
che certo le mie poesie
non cambieranno il mondo.
Io rispondo che certo sì
le mie poesie
non cambieranno il mondo

PATRIZIA CAVALLI[2]

Viviamo nel bel mezzo della 'rivoluzione informatica' o perlomeno di questo ci hanno convinto i mezzi di comunicazione. Una baraonda di cambiamenti in cui le parole chiave sono fluidità e dinamicità e l'universo delle applicazioni digitali appare come una ragnatela mobile dove l'elemento chiave e unificante sono le interconnessioni fra le svariate applicazioni e queste stesse sono in costante evoluzione. L'uso dell'informatica si impone praticamente in tutti i campi dello scibile e della vita pratica, incluso quello della conservazione.

Si osserva un processo di evoluzione accelerata che vede le soluzioni tecniche maturare e mutare prima delle metodologie applicative e della piena coscienza delle potenzialità che rimangono spesso inespresse ed inesplorate.

Nel campo dell'informatica applicata alla documentazione del bene culturale la complessità e la confusione non sono molto diverse da quelle che caratterizzano altri settori. Per questo portare a compimento uno stato dell'arte che delinei un attendibile profilo e/o rassegna delle applicazioni digitali nel mondo della conservazione risulterebbe un compito singolarmente impervio a meno di non utilizzare opportunamente filtri che siano capaci di porre in dovuto risalto gli episodi e le esperienze di maggior significato e di più diffusa applicazione. È proprio come se ci trovassimo ad utilizzare un motore di ricerca nel web: si impongono alcune condizioni di ricerca e se ne escludono altre; nulla di diverso dagli operatori logici *and*, *or* e *not*. L'orizzonte di questa raccolta di interventi è disciplinare: non sono state incluse per esempio le documentazioni inapplicabili in situazioni e contesti diversi da quelli per cui sono stata progettate. Non ci sono neanche alcuni tra gli interventi di maggior notorietà perché già completamente efficacemente pubblicati[3].

Questo dossier nasce per l'esigenza di un ragionamento sulla disciplina della documentazione in rapporto alle evoluzioni tecnologiche. In altre parole, si cerca di esplorare come ed in che maniera le nuove e avanzate tecnologie influenzino e possano modificare i caratteri della disciplina.

È quindi necessario, in primo luogo, definire con chiarezza cosa si intenda per documentazione. Si utilizza a questo scopo la definizione messa a punto nel seminario di ricerca GraDoc: «Documentation is the systematic collection, crea-

tion, structuring and ensuring of access to information from investigations, interventions, monitoring, and maintenance. Documentation formats iclude texts, image, graphic and an increasing variety of data formats generated by examination, analytical and recording techniques»[4].

In particolare questo dossier focalizza la sua attenzione sulla relazione tra *users*, gli utilizzatori, addetti al lavoro nel campo della conservazione dei beni culturali, e *providers*, i fornitori, specialisti di documentazione informatizzata consapevoli (per cultura, per formazione o per necessità) delle potenzialità del mezzo informatico[5]. E, difatti, solo dalla serrata cooperazione tra users e providers può svilupparsi la sintesi necessaria per la messa a punto di un fondato progetto di documentazione informatizzata. Questa cooperazione è indispensabile perché attraverso essa si genera quel circolo virtuoso che è in grado di definire perché e come, e quindi con quali strumenti si documenta. Mentre lo user identifica gli obbiettivi conservativi della documentazione e deve essere in grado di spiegarli chiaramente al provider; la selezione, scelta e gestione tecnica degli strumenti rimane nella sfera di competenza del provider che deve a sua volta chiedere riscontro allo user.

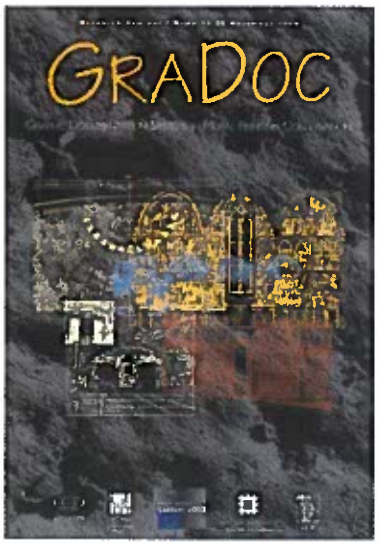


Fig. 1
Copertina del volume *GraDoc*.

Il rapporto user/provider, già messo ben in evidenza nel seminario di ricerca GraDoc[6] che l'International Center for Conservation Rome (ICCROM) organizzò alla fine del 1999, è oggi tema del progetto quinquennale di ricerca Bridging the Gap[7], una iniziativa congiunta del Getty Conservation Institute (GCI), dell'International Council on Monuments and Sites (ICOMOS) e dell'International Committee for Architectural Photogrammetry (CIPA), che ha l'obiettivo di elaborare, sulla base di una attenta disamina delle esigenze e delle caratteristiche degli attori (cioè users) del processo di documentazione, un protocollo condiviso per la documentazione.

Le applicazioni digitali, la loro adozione ed il loro uso, sono 'naturalmente' al centro del progetto Bridging the Gap che ha tra le sue radici il seminario GraDoc nascendo dalla spinta di alcuni tra i protagonisti del seminario e delle loro istituzioni.

Gli obiettivi di questa iniziativa, che purtroppo non include, almeno al momento, istituzioni italiane, meritano di essere descritti, sia pur brevemente. L'obiettivo principale che l'iniziativa si propone di raggiungere è quello di migliorare la comunicazione tra gli specialisti a partire dalla definizione del progetto di documentazione in modo da integrare le varie fasi di registrazione e documentazione all'interno del processo di conservazione. In questo contesto i responsabili dell'iniziativa Bridging the Gap ritengono strategico lo sviluppo e la promozione di hardware e software adeguati (ossia esplicitamente calibrati sulle esigenze della documentazione digitalizzata) nonché la messa a punto di strumenti per la documentazione (*standards*, *guidelines*, *handbooks* e *best practices*). Per raggiungere questi obiettivi gli organizzatori auspicano la attivazione di ulteriori collaborazioni con le principali istituzioni che si occupano di conservazione e progettano una serie di iniziative che comprendono tavole rotonde, elaborazione e pubblicazione di *guidelines for heritage recording, documentation and information management*, lo sviluppo di un *how-to handbook for recording*, sino alla creazione di un sito web in continuo aggiornamento con novità ed informazioni.

Uno dei pericoli che si incontrano è di abbandonarsi acriticamente alle spesso solo apparenti potenzialità degli strumenti informatici perdendo di vista i reali obiettivi e scopi della documentazione e rischiando di 'sprecare' le preziose e scarse risorse dedicate alla conservazione.

È questo un tema che non appartiene certo ai giorni nostri ma che è già stato ampiamente discusso fin da quando il rapporto tra discipline scientifi-

Fig. 2
I partecipanti al seminario GraDoc nella foto di gruppo.

che e umanistiche ha cominciato a proporsi nel campo del restauro[8]. Già i fondatori dell'Istituto centrale per il restauro, Brandi e Argan, nel 1939, impegnati a definirne la struttura e i principi sulla base delle indicazioni di Bottai, si posero questo stesso problema: «Oggi si parla molto di restauro. La stessa scienza positiva ha voluto mettere i suoi mezzi più nuovi e potenti al servizio della nostra volontà di conoscenza. Ora esiste in Italia un'alta tradizione del restauro [...] ma bisogna che quella tradizionale perizia e quella connaturata sensibilità siano validamente sorrette da una rigorosa ricerca scientifica; e che un centro coordinatore raccolga e vagli tutte le esperienze singole e da esse tragga un'esperienza di validità generale, da esse esprima un concreto durevole insegnamento»[9].

È una incerta alleanza quella che ha caratterizzato questo rapporto. Più volte Brandi ha ribadito la necessità di uno sviluppo delle discipline scientifiche applicate al restauro sino a ritenere queste fondamentali nella definizione del restauro preventivo[10]. Ma assieme a questo atteggiamento positivo vive nelle parole di Brandi il timore di essere incapaci di comprendere ed indirizzare il lavoro degli scienziati. Di questo timore, forse di questa diffidenza, si ritrovano gli echi nella relazione che Brandi tenne di fronte ad un pubblico di scienziati: «Confesso di trovarmi a disagio, io storico d'arte, in mezzo a tanti scienziati e di classe così elevata. Perché, mentre si fanno sempre più vive le esigenze della interdisciplinarità, le singole scienze si sviluppano in modo così autonomo e con un linguaggio formalizzato così particolare ad ognuna, che i contatti divengono sempre più difficili, ostici addirittura: e infine si riducono ad accettare le conclusioni di una scienza, che si vuol mettere a profitto in un campo diverso, senza la possibilità di un controllo; il che fa assomigliare quelle conclusioni, in sé astruse, come giustificate dal solo principio dell'autorità»[11].

Simili argomentazioni sono oggi trasferibili al rapporto tra l'informatica applicata alla documentazione ed il restauro. È essenziale dunque individuare chiari e definiti obiettivi, nel travolgente successo della cultura digitale e delle sue applicazioni possibili nel campo della documentazione, per evitare quanto a suo tempo temuto, ed espresso senza mezzi termini, da Brandi.

Vengono in mente le parole che Michele Cordaro, scettico attento, scrisse nel primo numero della rivista "Materiali e Strutture", con le quali metteva in guardia dal rischio di assistere ad «uno spettacolo colorato e strano, in bilico tra astrattezza e tautologia»[12]. Cordaro si riferisce al campo della ricerca e delle indagini scientifiche, ovvero al campo della diagnostica conservativa, del quale la documentazione è parte.

Cordaro stesso, descrivendo il contributo di Argan alla metodologia della storia dell'arte, rileva il ruolo positivo svolto da strumenti tecnologici e dall'informatica in particolare «alla condizione però che nel momento in cui si coglie l'enorme ausilio che gli strumenti tecnologici consentono al progredire della disciplina e delle conoscenze sia chiaro anche il limite insito nelle possibilità di elaborazione. L'informatica ad esempio può certamente porre delle relazioni all'interno delle classi omogenee, consentendo di allargare l'ambito quantitativo della classe se le relazioni sono appunto poste sulla base di dati oggettivi e facilmente identificabili in una descrizione»[13]. E su questa consapevolezza del limite Cordaro, come storico d'arte, ritorna come abbiamo visto spesso. Ma vi ritorna da conoscitore e quindi da acuto utilizzatore. È nello stesso scritto che definisce ancor meglio, prendendo a prestito parole di Argan, quale sia uno dei limiti individuati: «è grave che siffatti repertori[14] vengano impostati sulla base di superati criteri di categorie o di classi, senza neppure affrontare il problema della definizione, nell'ambito della fenomenologia dell'arte,

delle nozioni di campo e di relazione»[15].

È Cordaro a delineare in estrema sintesi il requisito che un sistema informativo[16] deve avere: «esigenza fondamentale per ogni sistema informativo che voglia essere qualcosa di più che una memoria *post-factum* degli interventi realizzati, bensì uno strumento di comunicazione e di scambio di dati tra specialisti fin dalla fase iniziale della progettazione, è la costituzione di modelli condivisi che rispettino ed integrino scopi, strutture, processi e persone di professionalità diverse. Di particolare rilevanza diventa pertanto l'interfaccia grafica del sistema informativo» che diventa il medium attraverso il quale diviene possibile strutturare livelli diversi di utenza con ruoli e capacità di accesso differenziate anche a livello di consultazione del dato e che permette una sintesi alta del contenuto del sistema informativo.

È Settis oggi ad esprimere lo stesso pessimismo, solo apparente, che traspare tanto dalle parole di Brandi quanto da quelle di Cordaro descrivendo la perplessità di chi si trova spiazzato, non certo per impreparazione culturale, di fronte al cambiamento tecnologico causato della radicale trasformazione ed accelerazione vissuta da questo settore negli ultimi anni. Usi ed abusi dell'informatica nell'ambito del settore dei beni culturali sono stati stigmatizzati dalle parole di Settis che ne ha trattato spesso, con una indubbia *vis polemica*[17], esprimendo la necessità di un controllo sulla formazione dello strumento di analisi e quindi sulla capacità di gestire (o saper individuare le linee di gestione) sistemi informativi realizzati con strumenti informatici: «Non ha nessun senso proporre progetti in cui la 'cornice' informatica venga sussunta pari pari (pescandola in prodotti preconfezionati offerti sul mercato), per poi versarci dentro 'i nostri contenuti': essi sarebbero fatalmente impoveriti dal forzato ingabbiamento entro cornici create per qualcos'altro [...] *framework* e contenuto vanno progettati insieme»[18].

La prospettiva è tipicamente umanista perché: «La tecnologia è cosa morta se non s'intreccia con la conoscenza storica. Questo intreccio è un traguardo che se perseguito correttamente non può che avere ricadute produttive e conoscitive molto importanti. Si aprirebbe così un campo sperimentale vastissimo per un lavoro in cui contenuti sempre più complessi vengano strutturati e articolati secondo tecnologie sempre più avanzate»[19].

Cambiamo prospettiva: dal punto di vista della storia dell'interazione uomo-macchina la relazione che si stabilisce tra questi è analizzabile utilizzando principi base della *direct manipulation*[20] che possiamo sinteticamente individuare nella rappresentazione continua degli oggetti e delle azioni di interesse con metafore visive significative, nell'uso di azioni fisiche elementari e rappresentazioni simboliche invece di sintassi complessa e, infine, nella reversibilità delle operazioni e visibilità immediata dell'effetto delle azioni sull'oggetto.

La capacità di rendere l'user consapevole delle potenzialità del mezzo informatico e in grado di comprendere le azioni compiute (fuori dalla logica dei linguaggi di programmazione) è avvenuta anche mediante la scelta della metafora della scrivania, della visualizzazione What You See is What You Get (WYSIWYG), delle finestre nella grafica di interfaccia del computer, della introduzione di icone e rappresentazione grafiche in luogo delle stringhe di linguaggio. Tutti questi elementi assieme definiscono la Graphic User Interface (GUI). Oggi questi elementi sono stati rivoluzionati da Internet che ha reso evidente come l'attenzione (il tempo dedicato ad una determinata attività) fosse un elemento centrale nella evoluzione dell'interfaccia (spazio e tempo divengono parametri per la definizione di nuovi scenari virtuali) e la personalizzazione, ovvero «la possibilità di configurare determinati servizi o applicazioni secondo le indicazioni, gli interessi e le esigenze di ogni singolo utente»[21] fosse la caratteristica assolutamente irrinunciabile ed essenziale per l'evoluzione dei nuovi sistemi informativi.

Se ieri la cultura del calcolo veniva sostituita

dalla cultura della simulazione attraverso la creazione di una scrivania virtuale su cui lavorare, al posto dell'interfaccia logica complessa, oggi si tende alla realizzazione di uno spazio complesso incarnato da una struttura reticolare in luogo della struttura gerarchica che ha caratterizzato per lungo tempo lo sviluppo dell'informatica.

È così che interfaccia grafica, campo, relazione, documentazione divengono alcuni tra i termini di un vocabolario, in parte ancora da scrivere, lontano dalle suggestioni meccaniche di una datata logica classificatoria (uniforme ed universalistica) che si muove in direzione ben diversa da quella indicata da Brandi e da Argan. Vocabolario che deve includere da una parte i termini 'sistemi semantici' e 'sistemi basati sulla conoscenza' dall'altra termini come 'conservazione della documentazione' (in forma digitale). L'evoluzione tecnologica, lo avevamo accennato all'inizio, porta con sé una serie di questioni inedite che non possono essere sottovalutate. La obsolescenza tecnologica dei dati e dei supporti materiali che contengono i dati divengono urgenze e necessitano la definizione di precise strategie e programmi (in senso sia organizzativo sia software) che salvino i dati nella struttura fisica e li rendano ancora leggibili nella loro struttura logica.

Possiamo definire ora meglio alcuni interrogativi. A chi spetta il compito di documentare? Quale è il rapporto tra il documentatore e le applicazioni informatiche? E quali sono le necessità e le richieste dell'utente nei confronti dell'informatico? A quali compiti è chiamato l'informatico e quali sono le urgenze che deve rispettare nella definizione della propria sfera di attività? È infine proprio necessario documentare attraverso il computer, e se lo è quali sono i vantaggi rispetto al validatissimo metodo tradizionale?

È Margaret MacLean ad entrare nel cuore del problema: «The technological landscape is changing fast, and costs are declining precipitously. New options in documentation can come into range quickly. Our task in this area is to demystify this intensely technical area of analytical recording to assist the professional community in making wise choices regarding their use of resources.

The objective of all these activities is to promote documentation as an integral first step in the planning, analysis, intervention, and monitoring phases of conservation and archaeological work. As such, it plays a central role in the effective management of the cultural heritage. We cannot manage or protect what we do not fully understand»[22].

Nella prassi quotidiana, è diffuso un atteggiamento di stampo superficialmente pragmatista che, passato il momento della grande paura dell'informatica, porta a ritenere le applicazioni legate all'informatica documentale semplici. «La vecchia idea del computer era legata all'incomunicabilità. Chi lo sapeva usare era avvolto da un'aura di mistero tecnicista. Velocemente batteva codici astrusi e come d'incanto apparivano dati, tabelle, equazioni, grafici. Indossava un camice e, preferibilmente, occhiali spessi; soprattutto parlava poco il linguaggio comune perché gli altri dovevano attendere supinamente i risultati»[23]. Ora, invece parrebbe che sia sufficiente 'cliccare' il pulsante opportuno per ottenere il risultato desiderato nella ingenua illusione che tutto sia stato previsto, tutto sia stato predisposto. Questa è la trasparenza delle tecnologie e la scomparsa dell'utente portata alle estreme conseguenze, anche quelle indesiderate. Un atteggiamento che tramuta il semplice in semplicistico e che comunque non include, nel suo spiegarsi, la crescita dell'utente.

Ma ovviamente non è questa la strada. Occorre un forte modello di interazione che prescrive e presuppone una attenta definizione delle sue competenze e delle sue esigenze.

Con un ulteriore scatto in avanti è chiaro come sia il Web[24], il luogo della nuova comunicazione, lo strumento ideale per la gestione della informazione documentativa.

Il teorema è piuttosto audace e in termini meno dirompenti era stato già enunciato proprio sulle

pagine del Bollettino ICR dove, nella descrizione del modello schedografico della collezione Doria Pamphilj[25], si affacciava l'ipotesi di una de-localizzazione spaziale della documentazione schedografica: un database che fosse accessibile da remoto sia per attività di registrazione del dato sia per attività di consultazione mediante le funzionalità tipiche di Internet.

La visione nel dossier è anche storica. Storica ma non è essa stessa storia. Manca, purtroppo, una analisi approfondita (sia essa rivisitazione critica o mero elenco di esperienze) che consenta di ricostruire l'evoluzione delle applicazioni digitali nel mondo della conservazione[26]. Le pubblicazioni, a dire il vero non così numerose, che illustrano gli sviluppi di questa o quella applicazione, sono talora prive di un adeguato corredo bibliografico, quasi come se ogni progetto iniziasse e si concludesse in se stesso. La bibliografia spesso risulta essere ciclica: alcuni autori sono continuamente citati in un pacchetto preconfezionato che replica all'infinito una interpretazione ad una sola dimensione della storia della documentazione per il restauro e la conservazione[27]. Il documento *NORMAL 1/88, Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico*[28] trova, in questo contesto, sempre un posto d'onore, godendo di una popolarità superiore al suo (apparente) contenuto perché in realtà questo esplicita una classificazione metodologicamente fortemente strutturata che, curiosamente, trova spesso applicazione solo per i suoi risultati formali: una ventina di definizioni cui si accompagnano altrettante caratterizzazioni grafiche.

Dimenticate risultano alcune interessantissime esperienze portate a compimento negli anni '90 ed interessa poco, in questa sede, capire se siano state abbandonate dagli stessi autori per naturale conclusione, per sfiducia, o se siano state superate dallo sviluppo impetuoso della rivoluzione digitale ovvero degli strumenti tecnici (hardware e software) reperibili nel mercato.

Tra queste esperienze andrebbero recuperate, criticamente, quelle relative alla documentazione dei lavori di restauro relativi a:
- gli affreschi di Masolino, Masaccio e Filippino Lippi nella Cappella Brancacci a Firenze[29];
- gli affreschi di Vasari e Zuccari nella cupola di Santa Maria del Fiore a Firenze[30] (fig. 3);
- la facciata della chiesa di Santa Maria del Giglio a Venezia[31] (fig. 4).

Tratto comune per tutti questi interventi è quello di essere stati realizzati, per iniziativa autonoma degli staff di Direzione dei Lavori, utilizzando risorse tecniche reperite all'esterno dell'Amministrazione pubblica committente. Ingenti sono stati gli investimenti per la realizzazione di questi ed altri sistemi informativi ma nella comunità dei conservatori è prevalso, e prevale tuttora, l'interesse per il prodotto, l'esperienza 'chiavi in mano', il pacchetto esportabile 'tal quale' piuttosto che l'aspetto metodologico e procedurale[32] da cui queste esperienze discendono.

La lista degli autori[33] invitati è stata filtrata attraverso il setaccio del rapporto user/provider. Buona parte degli autori, quindi, necessita di una breve introduzione che spieghi concatenazioni logiche e, almeno a grandi linee, chiarisca gli scenari istituzionali o professionali in cui ciascuno di essi si muove.

Salvatore Settis, professore ordinario di Storia dell'archeologia, è direttore della Scuola Normale Superiore di Pisa dopo essere stato per anni direttore del Getty Center for the History of Art and the Humanities. Prendendo spunto da un convegno organizzato dall'IBM, Settis pubblicò nel 2000 una serie di interventi sul quotidiano "Il Manifesto", in cui affermava la necessità di sviluppare una precisa organizzazione del dato conservativo e la necessità di promuovere la formazione di professionalità nuove capaci di raccordare restauratori ed informatici. Il contributo contenuto nel dossier riporta uno stralcio significativo di questa discussione che, d'altra parte, è stata qui abbondantemente citata.

L'esigenza di una visione storica dello sviluppo della cultura informatico/conservativa ha trovato un

3

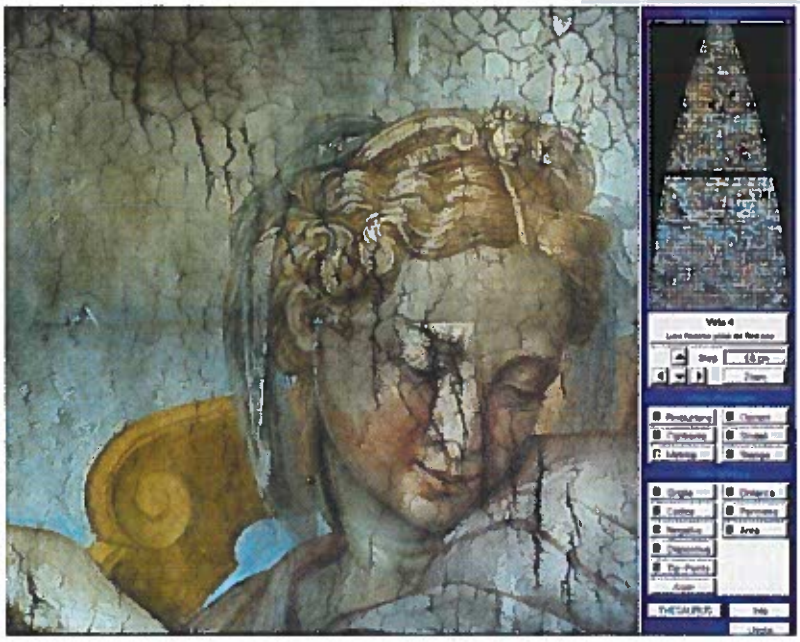


Fig. 3
Firenze, intradosso della cupola di S. Maria del Fiore, affreschi del Vasari. Tavola tematica del software Thesaurus Florentinus.
(Cortesia di Riccardo Dalla Negra)

prezioso testimone in Paola Moscati, direttore della rivista "Archeologia e Calcolatori" e docente di Informatica presso l'Università degli studi di Viterbo. La Moscati propone una valutazione del rapporto tra le metodologie tradizionali della ricerca archeologica e gli aspetti teorici delle applicazioni informatiche alla luce dei cambiamenti avvenuti nell'ultimo decennio. Curioso e significativo è scoprire come anche la Moscati segnali l'esigenza di evitare applicazioni foriere di esiti tanto spettacolari quanto privi di reale valore scientifico: lo «spettacolo colorato e strano» a cui Michele Cordaro guardava con ironico disgusto.

Il discorso di metodo non è circoscrivibile ad una disciplina, anche se quella archeologica vanta una inconfutabile primogenitura. Le applicazioni informatiche nel campo dei beni culturali hanno lentamente mutato le loro caratteristiche orientandosi sempre più verso l'integrazione dei dati (raccolti, sviluppati ed elaborati mediante diverse metodiche e diversi strumenti) oggi resa possibile dall'accrescimento delle risorse hardware (la legge di Moore)[34] e dal drastico miglioramento degli applicativi prodotti dai produttori di software. È una vera e propria storia dell'evoluzione della ricerca che coniuga informatica e discipline umanistiche. L'esigenza, in generale, sarebbe quella di abbozzare una storia della documentazione (grafica e non) che non è qui, comunque, il caso di ampliare oltre.

Il contributo di Filippo Petrignani fornisce una precisa ricostruzione delle prospettive di sviluppo contenute *in nuce* nell'esperienza prototipo degli anni '80 sulla Cappella Sistina (la prima e più nota esperienza di documentazione grafica in forma digitale nel campo del restauro)[35]. Già in questo articolo si comprende come il rapporto tra il restauratore ed l'informatico e quindi la definizione dei requisiti richiesti al software di documentazione grafica sia elemento essenziale per la progettata riorganizzazione dei sistemi di documentazione grafica del Laboratorio di restauro dei Musei Vaticani: *framework* e contenuto vanno progettati insieme secondo la lezione di Settis. Se ciò non avviene è difficile pensare di garantire la sopravvivenza del sistema documentativo nel futuro.

Quella della Sistina è anch'essa una esperienza che, paradossalmente, non ha avuto il giusto rilievo da un punto di vista tecnico e metodologico. È un caso tipico in cui l'opera rappresentata ha avuto il sopravvento: tutti sanno che nel cantiere di restauro della Cappella Sistina era presente un computer collocato direttamente sul ponteggio mentre pochi (anzi pochissimi) sanno come effettivamente fosse strutturato il sistema hardware/software.

La capacità di organizzare una documentazione gestibile dal restauratore o comunque realizzata direttamente *in situ* mediante strumenti informatici è stata già descritta nella sua evoluzione[36]. Crediamo sia davvero interessante il racconto dell'esperienza di registrazione grafica digitale dello stato di conservazione dei templi di Angkor Wat in Cambogia. Simon Warrack, restauratore inglese trapiantato nella campagna viterbese, ha imparato rapidamente la programmazione dell'interfaccia utente e si concentra sulla modifica di software grafico adattato alle esigenze dei restauratori e sull'organizzazione, formazione e coordinamento di un team di 10 restauratori e su standard e tecniche digitali di registrazione *in situ*.

Il software utilizzato (con livelli diversi di manipolazione e adattabilità del software stesso) è stato AutoCAD, standard *de facto* della documentazione

grafica digitalizzata eseguita con software a base vettoriale.

A questo proposito Harrison Eiteljorg, direttore del Centre of Study of Architecture (USA), chiarisce come il CAD non sia solo un software grafico ma consenta anche la gestione di dati numerici fino ad arrivare alla modellazione tridimensionale. A questo proposito illustra alcune sue realizzazioni. Ma ancor più dei risultati pratici a Eiteljorg interessa distribuire e comunicare esperienze. È questo il senso del sito del Centro e della sua newsletter quadrimestrale. Attraverso questa fonte si traggono dati, codici, risultati.

L'utilizzo di tecniche di Automated Mapping e Geographical Information System (GIS) rappresenta la principale e più fertile linea di sviluppo nel campo della documentazione conservativa.

Di Giacomo discute di integrazione dei data base con informazioni di tipo vettoriale e *raster*. Il contributo si muove in una direzione che potrebbe sembrare utopica quando immagina un processo organico che renda la documentazione parte stessa dello sviluppo del progetto di conservazione (o di manutenzione). Lavorando anche sull'integrazione di basi grafiche e modelli schedografici che Di Giacomo illustra, è Cerica che espone il tema dei metadati e della documentazione della documentazione. Trattazione sintetica da ampliare, sicuramente, in ulteriore pubblicazione, poiché il tema del metadati comincia ad essere sentito fuori dall'ambito archivistico/bibliotecario in cui nasce e presto potrà raggiungere una chiara definizione anche in ambito cartografico ed in ambito conservativo, considerando quest'ultimo come una particolare applicazione della cartografia tematica.

Esemplare è il contributo dei rumeni Petrescu e Murariu. Una unione professionale che si genera, curiosamente e contro corrente, all'interno di un rapporto coniugale, dove i rapporti user/producer riescono a essere chiaramente espressi e razionalmente gestiti al fine della creazione di un particolare GIS dedicato ai dipinti murali ma, evidentemente, trasferibile con ben poca fatica a diversi supporti. Nell'articolo si descrive il lento incarnarsi della soluzione tecnologica sviluppata da Petrescu, ingegnere, che basa il suo fondamento su un consapevole uso e conoscenza del supporto informatico e sul fatto che Murariu sia una restauratrice.

L'ultima sezione del dossier tratta delle «applicazioni costruite appositamente per coadiuvare il lavoro di documentazione e restauro sviluppando un lavoro di ricerca sui linguaggi informatici e sulla relazione user/producer».

In queste esperienze sono contenute, anche se talvolta solo *in nuce*, serie prospettive di sviluppo. Le esperienze sono tutte di frontiera e sembrerebbero contraddire le premesse dal momento che non rappresentano certo una indicazione di sviluppo concreto immediato ed economico. Ma il loro valore, essendo vera e propria ricerca di base, è quello della elaborazione di un prototipo: tali sono gli interventi di Forte, di Accardo e di Basile, Attolico, Distante e Malavasi.

Forma, caratteristiche geometriche, statiche e comportamentali: è su queste basi che si sviluppa il contributo di Maurizio Forte dove i sistemi e le applicazioni di realtà virtuale nell'ambito della documentazione e modellazione spaziale del bene culturale sono, una realtà condivisibile anche attraverso tecnologie *web-based*.

Il contributo descrive l'esperienza e le potenzialità della modellazione tridimensionale di strutture archeologiche per creare realtà virtuali per scopi didattici di conservazione e di ricerca. Modello, simulazione e diagnostica non distruttiva significano sviluppare strumenti predittivi ed analitici a fini conservativi mediante un processo di definizione degli oggetti che sembra essere lo stadio più avanzato della capacità di digitalizzare il reale e rendere 'discreti' gli oggetti analizzati.

Giorgio Accardo descrive le caratteristiche tecniche che distinguono i principali sistemi di rilievo e di lavorazione in relazione alla possibilità di applicare sistematicamente la tecnologia digitale

per la costruzione dell'archivio numerico 3D della scultura. Il contributo è anche occasione per riprendere una polemica annosa e per rivendicare le qualità del virtuale contro la invasività e la incertezza delle tecniche tradizionali di copia. Lo scritto mostra, l'aspetto di frontiera (sperimentazione, polemica, impegno...) dell'applicazione digitale, filone in cui può agevolmente collocarsi anche il lavoro compiuto ad Assisi per la ricomposizione degli affreschi 'sbriciolati' e che vede una uguale 'esposizione'. Giuseppe Basile e il gruppo di ricercatori del CNR si muovono, dal punto di vista disciplinare, su di un terreno diverso che fa diventare le forme parte integrante di un processo di riconoscimento dei rapporti di similarità tra frammenti di un affresco. Il contributo descrive, come accennato, lo strumento digitale creato in ausilio ai restauratori per il riassemblaggio dei frammenti di pittura murale crollati duranti il terremoto di Assisi. Sembrerebbe il punto finale di 'rarefazione' delle tecniche analitiche ma si vedrà come la gestione del data-base sia ricca di stimoli per la risoluzione di problemi legati alla individuazione di tipologie classificatorie sui frammenti. Da verificare ancora interamente è l'integrazione user/provider anche alla luce di quanto sostenuto in questa introduzione. Confidiamo che quanto prima possa essere possibile una descrizione completa dell'esperienza.

In conclusione occorre aggiungere ancora una ulteriore riflessione. La digitalizzazione della documentazione si è rapidamente imposta, negli ultimi anni, nel mondo della conservazione avviandosi a divenire tecnologia standard per applicazioni diagnostiche e di documentazione. Numerosi sono i progetti in ambito europeo e diviene difficile porre la dovuta attenzione alle iniziative che sorgono col fine di attuare una completa digitalizzazione del patrimonio culturale. Questo, però, avviene senza aver definito regole precise per la produzione, il trattamento, la condivisione, lo scambio ed il mantenimento a lungo termine delle informazioni elaborate in formato digitale. Come sottolineato a gran

4

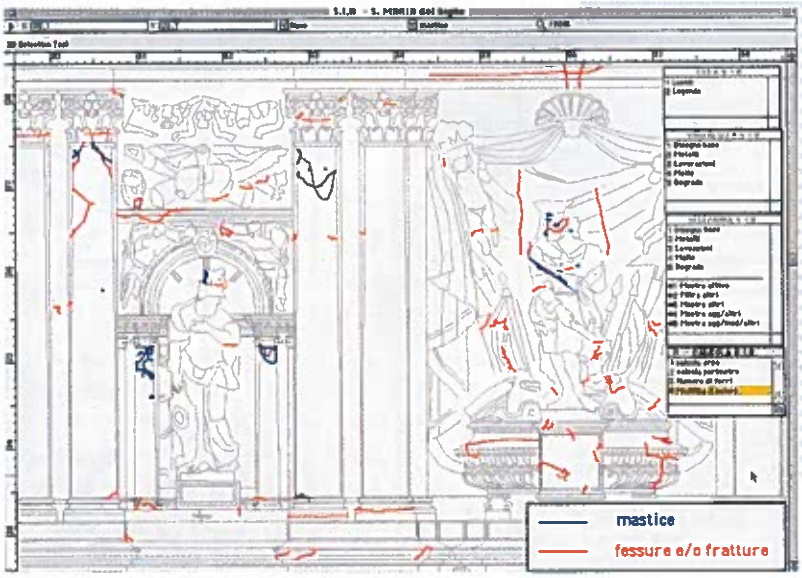


Fig. 4
Venezia, S. Maria del Giglio, facciata. Tavola tematica relativa a fessure e fratture. Software elaborato da Alberto Torsello. (Cortesia di Marina Fresa)

voce da Settis, occorre porsi l'obiettivo della formazione di un tecnico della documentazione che sia in grado di utilizzare al meglio, per la registrazione di dati grafici e non, gli strumenti software disponibili nel mercato e/o sia in grado di provvedere o indicare le linee per la loro gestione ed implementazione. Che questo processo debba avvenire utilizzando innanzitutto software commerciali di amplia diffusione ed elevato livello di programmabilità è ovvio.

Rimane fermo che l'attenzione dello specialista in conservazione, dell'esperto in computer e dell'esperto nella documentazione deve essere puntata sul contenuto dell'informazione ovvero sulle regole per la sua organizzazione.

Come implicitamente alluso, è proprio questa impostazione quella che separa, nettamente, l'informatica applicata alla documentazione del bene culturale dall'ancora tanto diffuso dilettantismo tecnicista che tutto accetta e di tutto è entusiasta.

Esaurita la novità, entrata in fase di obsolescenza la dotazione informatica, se non si temesse di essere irriverenti si potrebbe dire che si scarta, si getta via l'intera esperienza alla ricerca di una nuova emozione, di una nuova pubblicazione: l'altro ieri mappature digitali, ieri database multimediali, oggi realtà virtuali, domani *augmented reality* e un futuro tutto ancora da scoprire. La cosiddetta 'restautronica'[37] non fa parte dell'orizzonte in cui si colloca l'informatica applicata alla documentazione del bene culturale ma potrebbe essere questo lo «spettacolo colorato e strano, in bilico tra astrattezza e tautologia»[38] che paventava Michele Cordaro.

Note

[1] L. Carroll, *Alice nel paese delle meraviglie*, (Traduzione di Aldo Busi), Roma 1998.

[2] P. Cavalli, *Poesie*, Torino 1992.

[3] Vedi G. Buzzanca, *Selected Bibliography on Computer-aided Documentation*, CD allegato a W. Schmid (a cura di), *GraDoc. Graphic Documentation Systems in Mural Painting Conservation*, ICCROM Research Seminar, Rome 16-20 November 1999, Roma 2001. Per la ricerca bibliografica è ora disponibile la consultazione degli AATA (Art and Archaeology Technical Abstracts) on line (vedi <http://aata.getty.edu>).

[4] Definizione adottata dai partecipanti al Seminario *GraDoc*, W. Schmid (a cura di), *op. cit.* Questa ed altre definizione provengono dall'utile glossario definito per questo seminario e uno dei pochi se non l'unico esistente in questo campo.

[5] Buzzanca è un *information provider*, Piqué è una *information user*.

[6] W. Schmid (a cura di), *op. cit.*, vedi in particolare il capitolo *Results of Working Groups*. Vedi anche G. Buzzanca, *GraDoc: un seminario dell'ICCROM sulla documentazione grafica*, "Bollettino ICR-Nuova Serie", 2001, 3, pp. 132-134.

[7] Il progetto è condotto da Christopher Gray (GCI Liaison Officer) e da Robin Letellier (RecorDIM Initiative - International Coordinator). Letellier già coordinatore del Working Group 3 del Seminario *GraDoc*, oltre che vice presidente del CIPA (vedi <http://cipa.icomos.org/>) è coordinatore, nell'ambito del CIPA, del Working Group *A1 - Recording, Documentation and Information Management - Principles and Practices*. Dalla pagina <http://www.getty.edu/conservation/resources/reports.html> è possibile scaricare in formato PDF (404 kb) il documento R. Letellier, C. Gray, *Bridging the Gap Between Information Users and Information Providers*, Recording, Documentation and Information Management (RecorDIM) Initiative, Report of Roundtable 1 (March 4-5 2002), The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2002. Vedi anche il Piano Preliminare 2002-3 presentato a Madrid nel luglio 2002 nella Conferenza ICOMOS: <http://www.international.icomos.org/madrid2002/recordim.htm>.

[8] Nel 1996 il GCI pubblicava una antologia di scritti dedicati alla conservazione che contiene una sezione, la parte VIII dedicata a *The role of science and technology*. La sezione, curata da Alessandra Melucco Vaccaro contiene scritti di Paul Coremans, Giorgio Torraca e Giovanni Urbani selezionati come '*mile stones*' nel campo della scienza applicata al restauro e tradotti in inglese per la prima volta. Una bibliografia annotata di ulteriori otto articoli completa la sezione. N. Stanley Price, M.K. Talley Jr., A. Melucco Vaccaro (a cura di), *Historical and Philosophical Issues in the Conservation of Cultural Heritage*, Los Angeles 1996.

[9] G. Bottai, *Direttive per la tutela dell'arte antica e moderna*, "Le Arti", 1938, 1, ottobre-novembre, p. 51.

[10] C. Brandi, voce *Restauro* per *Enciclopedia universale dell'arte*, Venezia-Roma 1963, vol. XI, cc. 322-332, ripubblicata in M. Cordaro (a cura di), *Cesare Brandi. Il restauro. Teoria e pratica*, Roma 1966.

[11] C. Brandi, *Restauro ed Indagini scientifiche, Relazione, Applicazione dei metodi nucleari nel campo delle opera d'arte*, Roma-Venezia 24-29 maggio 1973, Roma 1976, pp. 675-682.

[12] M. Cordaro, *Uso ed abuso delle indagini scientifiche*, "Materiali e Strutture", 1991, 1, 1, pp. 32-34.

[13] M. Cordaro, *La concezione della storia dell'arte e gli strumenti della didattica*, in G. Chiarante (a cura di), *Giulio Carlo Argan. Storia dell'arte e politica dei beni culturali*, Siena 1994 (Interventi III), pp. 57-61.

[14] In questo caso Argan si riferiva ad un *corpus*.

[15] M. Cordaro, *La concezione...*, cit.

[16] Non si discutono in questa sede i contenuti intrinseci di un sistema informativo ma la capacità di rispondere ad una esigenza di classificazione e ricerca che viene legittimamente posta dall'esperto in conservazione all'informatico.

[17] Vedi S. Settis, *Italia S.p.A.*, Torino 2002.

[18] S. Settis, *Innovare non copiare*, "La rivista del Manifesto", 2000, 9, pp. 31-34.

[19] S. Settis, *ibidem*.

[20] B. Shneiderman, *Designing the user interface, strategies for effective human-computer interaction*, USA, 1986. Citato in R. Scalisi, *Users*, Milano 2001.

[21] R. Scalisi, *op.cit.*, p. 122. Per una storia dell'utente nel quadro dell'interazione uomo-macchina si raccomanda la lettura del volume in particolare per i capitoli 5 e 6 dedicati rispettivamente al nuovo utente della Rete e alla scomparsa dell'utente alla luce dell'attuale rivoluzione digitale.

[22] M.G.H. MacLean, *Capturing the Past: Documentation and Conservation*, "Conservation" (The Getty Conservation Institute Newsletter), 1996, 11, 2.

[23] A. Saggio, *Temi il demo?*, in M. Engeli, *Storie digitali*, Torino 1999, p. 5.

[24] Il world wide web e le sue probabili evoluzioni verso un sistema semantico. Vedi T. Bernes-Lee, *L'architettura del nuovo web*, Milano 2001.

[25] A. Marcone, M. Paris, G. Buzzanca, G. Lucarelli, G. Gerardi, A. Giovagnoli, A. Ivone, M.P. Nugari, *Il progetto ICR di manutenzione e controllo della Galleria Doria Pamphilj: schedatura conservativa e monitoraggio ambientale*, "Bollettino ICR - Nuova serie", 2001, 2, pp. 44-67.

[26] L'Università è il luogo deputato alla analisi della memoria storica della evoluzione delle tecnologie digitali. Nell'ambito della Facoltà di Conservazione dei beni culturali dell'Università della Tuscia si segnalano due lavori di

ricerca che potrebbero costituire una appendice di questa pubblicazione. Il primo è quello di Vera De Nicola (Tesi di laurea discussa nel maggio 2002) dal titolo *Affreschi cinquecenteschi nella chiesa di Sant'Agostino a Gallese: dalla schedatura all'indagine storico-artistica*, relatore Enrico Parlato, correlatrice Federica Di Napoli Rampolla, dove si tenta una descrizione del primo apparire della documentazone conservativa partendo da Prosper Mérimée sino all'attività di Giovan Battista Cavalcaselle. Il secondo è il progetto di ricerca di Manuela Viscontini dal titolo *Multimedialità e beni culturali. Modello di ricerca per l'applicazione degli strumenti informatici allo studio dei cicli apostolici nella pittura monumentale dal X al XIV secolo* (Corso di dottorato in *Memoria e materia delle opere d'arte: attraverso i processi di produzione, storicizzazione, conservazione, musealizzazione*, XV ciclo). In questo progetto si scopre una straordinaria identità di vedute rispetto all'impostazione di questo dossier e la attività della Viscontini è la felice conferma della 'correttezza' di questa impostazione.

[27] Notiamo, ad esempio, come la pubblicazione GraDoc cominci a essere conosciuta nell'ambito dell'università ed è, ad esempio, testo di riferimento nell'ambito del Corso di Informatica applicata già tenuto da Giancarlo Buzzanca – presso la Scuola di specializzazione in tutela e valorizzazione dei beni storico-artistici dell'Università della Tuscia. Minor successo sembra aver riscosso all'interno delle istituzioni deputate alla definizione delle pratiche conservative.

[28] *NORMAL 1/88, Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei, lessico*, Roma 1990.

[29] R. Zorzi (a cura di), *La Cappella Brancacci. La scienza per Masaccio, Masolino e Filippino Lippi*, "Quaderni del restauro", 1992, 10. Direttore dei lavori era Umberto Baldini.

[30] R. Dalla Negra, *Il Cantiere, le indagi i rilievi*, in C. Acidini Luchinat, R. Dalla Negra (a cura di), *La cupola di Santa Maria del Fiore. Il cantiere di restauro 1980-1995*, Roma 1996, pp. 1-45. Direttore dei Lavori Riccardo Dalla Negra. Vedi anche <http://www.ambientefi.arti.beniculturali.it/sbaafi/thesaur.htm>.

[31] A. Torsello, *Una proposta di sistema per la gestione dei rilievi*, in M. Fresa (a cura di), *Santa Maria del Giglio: il restauro della facciata*, Venezia 1997, pp. 85-93. Il team era completato da Lucia Bassotto, restauratrice e condirettrice dei lavori.

[32] Per la necessità di sviluppare standard nella documentazione grafica: G. Buzzanca, *Standards and Customised Menus in Condition Digital Recording*, in Preprints of *Art 99: 6nd international conference on non-destructive testing and microanalysisfor diagnostic and conservation of the cultural and environmental heritage*, Rome May 17-20 1999, Rome 1999, vol. 3, p. 2097-2108; G. Buzzanca, *Esigenza di standard nella Documentazione Grafica Digitalizzata*, "Materiali e Strutture - Nuova serie", 2003, 1, 1, pp. 69-82.

[33] Alla lista occorre aggiungere Raniero Baglioni, Vera De Nicola, Bianca Fossà, Maria Jose Gonzalez Lopez, Christopher Gray , Walter Henry, Gaetano Palumbo, Werner Schmid, Esmeralda Senatore e Manuela Viscontini che hanno attivamente partecipato alla definizione del quadro finale dei contenuti e dei contributi.

[34] È la legge empirica che quantifica la crescita esponenziale delle capacità dei processori. Ma nell'informatica (e nella telematica) la legge guida non è quella di Moore ma quella di Murphy. L'origine, che risale al 1949, è attribuita ad un tecnico dell'aeronautica militare, il capitano Edward Murphy: «Se qualcosa può andare storto ci andrà - e lo farà nel momento peggiore possibile». Ognuno di noi ha una enorme riserva di aneddoti a questo proposito.

[35] La prima esauriente descrizione delle soluzioni tecniche adottate nell'esperienza della Cappella Sistina risale agli atti del seminario *GraDoc* pubblicati solo nel 2000.

[36] G. Buzzanca, F. Capanna, *La documentazione grafica assistita da elaboratori: uno strumento per il restauro*, "Bollettino ICR - Nuova serie", 2000, 1, pp. 4-13 e la bibliografia in esso contenuta. Per una critica dell'ipertecnicismo vedi anche G. Buzzanca, M. Vidale, *I cantieri di restauro, quelli archeologici e l'indagine informatizzata sul campo di strutture e macrostrutture*, "Arkos-Notizie GOR", 1993, 21-24, pp. 46-49.

[37] Definizione che coniuga, con acrobazia linguistica, restauro ed elettronica, letta in un articolo che non vale neppure la pena di citare.

[38] M. Cordaro, *Uso ed abuso delle indagini scientifiche*, "Materiali e Strutture", 1991, 1, 1, pp. 32-34.

DOSSIER

Salvatore Settis

L'illusione dei beni digitali

Nel campo del rapporto tra le tecnologie dell'informazione e della documentazione e i Beni Culturali bisognerebbe sgombrare il campo da tre 'illusioni' molto diffuse.

La prima illusione è che, rispetto al progresso costante delle tecnologie e in particolare alla 'rivoluzione digitale' il problema dei paesi europei, e in particolare dell'Italia, sia di essere 'indietro' rispetto agli Stati Uniti, e di dover recuperare un tale ritardo. Ne consegue l'abituale retorica delle Information Highways, con quel che segue: la corsa ai progetti da montare e 'implementare' il più velocemente possibile, il senso di essere sempre in retroguardia, il ricorso alle statistiche per dimostrarlo. Al polo opposto, non manca chi mette in dubbio questo modello di sviluppo, e rivendica per l'Europa (o per l'Italia) la possibilità di creare modelli alternativi (senza precisare quali): è una posizione debole, perché si risolve di fatto in un perpetuo rinvio, tanto meno convincente quanto più rapidamente, intanto, la tecnologia progredisce, e la distanza rispetto alle sperimentazioni più avanzate si fa più grande. Ma se la diagnosi (il 'ritardo') è giusta, non per questo è chiaro in che senso debba andare la 'cura'.

La seconda illusione è che si sappia benissimo perché e per chi utilizziamo le nuove tecnologie per l'informazione sui Beni Culturali. Ma quale pubblico è il destinatario dei lavori che si compiono, delle informazioni che si raccolgono e che si trasmettono? Dove dovremo porre la frontiera fra utenza specializzata e utenza non specializzata? Si tratta di una frontiera fissa, o mobile? Le nuove tecnologie devono anche avere lo scopo di una 'democratizzazione' dell'informazione in questo settore? E in questo caso, chi deve provvedere, e come, a rendere accessibili i risultati della ricerca specialistica a un pubblico più vasto? Si insiste di solito sull'informazione, e molto di meno sui processi di conoscenza (l'informazione è passiva, la conoscenza è attiva, presuppone l'attivazione di meccanismi interattivi fra 'destinatore' e 'destinatario'). Parlando di dati, o di basi di dati, si rischia talvolta di credere che il dato è neutro, mentre non lo è affatto, e il modo come crea (o non crea) conoscenza dipende da come è strutturato e da come è presentato.

La terza illusione è, credo, la più pericolosa. L'idea è più o meno questa: mentre avanzano le tecnologie, a noi europei (o italiani) può restare un'ultima frontiera, quella dei contenuti.

Un'affermazione come questa è semplicemente sbagliata (nel senso che ha poco da spartire con la realtà). Infatti, uno degli aspetti più rivoluzionari, forse il più rivoluzionario, della rivoluzione tecnologica in atto è che nell'informazione canalizzata entro e secondo le nuove tecnologie i contenuti sono inseparabili dal modo come sono strutturati.

Sul piano concettuale, è l'informazione che dà forma alla struttura, che si traduce in 'cornici tecnologiche'; ed è la struttura tecnologica che, canalizzando l'informazione, ne predetermina la ricevibilità, dunque gli usi. Distinguere informazione da struttura dell'informazione è del tutto artificiale: le forme di strutturazione infatti sono più o meno marcatamente ideologizzate, contengono esse stes-

se informazione. È solo l'insieme di informazione e struttura che costituisce, genera, diffonde (o non diffonde) conoscenza.

Le idee che si nascondono nella strutturazione dell'informazione non sono meno importanti dei contenuti dell'informazione stessa; in altri termini, le infrastrutture tecnologiche determinano la trasmissibilità dei contenuti (e la non-trasmissibilità di altri contenuti); per converso, le infrastrutture tecnologiche possono essere determinate da una precisa volontà di convogliare certi contenuti a preferenza di altri.

Le scelte da compiere in questi ambiti non coinvolgono solo gli individui, ma le istituzioni. Non è vero che le tecnologie costringono a canalizzare le informazioni in certi modi, di solito impoverendole secondo le ricette precostituite dei software già in commercio; e invece è vero che, chiedendo di più e di meglio, si stimolano le tecnologie a diventare flessibili, ad adattarsi alle esigenze, in altri termini a progredire e a raggiungere frontiere più avanzate. Proporre traguardi più avanzati non è solo raccomandabile in termini di professionalità e di coscienza etico-politica (onde trasmettere contenuti più ricchi e più interessanti), ma ha importanti e positive ricadute produttive: stimola il progresso delle tecnologie.

L'ipotesi di lavoro è, dunque, che oggi si avverta l'esigenza (e vi sia la possibilità) di 'alzare il tiro', accrescendo gradualmente il livello di ricchezza delle informazioni e il livello di complessità delle loro interconnessioni. Occorre immaginare una rete strutturante (di crescente complessità) di relazioni logiche, cronologiche, genetiche fra ogni singolo oggetto o dato e una molteplicità di altri oggetti o dati. Le nuove tecnologie consentono, e sempre più consentiranno, una ricomposizione multipla, anzi anche la simultanea presenza di più ipotesi alternative fra cui scegliere (o non scegliere). I contenuti devono dunque includere non solo i contesti multipli di ogni singolo oggetto e le loro stratificazioni, ma anche informazioni sulla funzione, la fruizione e la recezione, oltre che sulla ricomposizione contestuale e materica, sulla conservazione, sul restauro e così via. Moltiplicare le informazioni, moltiplicare le connessioni, tenendo costantemente viva una relazione strettissima fra le vie battute dalla ricerca specialistica e l'organizzazione dell'informazione per un pubblico più vasto.

Quest'ipotesi di lavoro ha due conseguenze importanti:

1 - se si alza gradualmente il livello dell'informazione e delle reti logiche che la strutturano e si sposta gradualmente la frontiera fra pubblico specializzato e non specializzato, si apre un campo sperimentale vastissimo per un lavoro in cui contenuti sempre più complessi vengano strutturati e articolati secondo tecnologie sempre più avanzate. Come si è detto, questo processo stimola lo sviluppo della tecnologia, perciò è una carte vincente su tempi lunghi;

2 - un legame sempre più stretto fra analisi dei contenuti specificamente storico-artistici e progettazione delle forme di strutturazione dell'informazione e della conoscenza comporta la creazione di nuovi profili professionali, ancora tutti da definire e da inventare; e, potenzialmente, di nuova occupazione.

Se quanto si è detto è vero, ne conseguono alcune raccomandazioni:

1 - la distribuzione delle informazioni di natura museale o culturale via Internet richiede che la forza trainante sia la conoscenza, e non la tecnologia; la tecnologia dev'essere al servizio del contenuto, e per tal via essa sarà sottoposta a nuove sfide e a ulteriori progressi;

2 - hardware e sotftware cambieranno a un ritmo crescente; perciò l'investimento determinante dev'essere nella conoscenza e nell'informazione prodotta dalle istituzioni. Solo se cresce il livello della conoscenza varrà la pena di spendere in tecnologie;

3 - è essenziale prevedere le conseguenze del fatto che la strumentazione informatica diventa molto rapidamente obsoleta. Dunque, occorre sempre

prevedere meccanismi di trasferimento efficiente e immediato dei dati a nuovi sistemi senza perdita di informazione. È essenziale prevedere standard dell'informazione e protocolli comuni, non solo per l'aggiornamento tecnologico e per lo scambio con altre istituzioni, ma per consentirne la facile e costante accessibilità agli utenti;

4 - un fattore essenziale nella selezione e nella strutturazione dell'informazione (nonché nella costruzioni di reti, di siti Internet, di interfacce-utente) è l'analisi dell'utenza e la responsabile scelta di strategie di relazione fra ricerca specialistica e utenza generalizzata;

5 - nulla potrà esser costruito in modo efficiente se non mediante una strettissima interazione fra informazioni (contenuto) e tecnologie, cioè mescolando le competenze di storici, storici dell'arte ecc. e detentori delle tecnologie. Quanto maggiore la separatezza fra i due versanti, tanto peggiore sarà il prodotto. Gli archeologi e storici dell'arte che, individuato un loro problema, si rimettono interamente a ditte informatiche specializzate per la sua 'soluzione' non dimostrano soltanto ingenuità e incompetenza ma sperperano danaro (pubblico o privato) e marciano più o meno allegramente verso un inevitabile fallimento.

Questo contributo è una rielaborazione dell'articolo *L'illusione dei Beni digitali*, "Il Manifesto", 21 gennaio 2000, pp. 25-26. L'articolo nasce come commento ad un convegno (ad inviti) organizzato a Roma dalla fondazione IBM Italia e dal Ministero per i beni e le attività culturali. Questo articolo, cui seguì una risentita puntualizzazione dell'allora Ministro Giovanna Melandri che rivendicava agli organi scientifici e tecnici del ministero una consapevole capacità di progettazione, fu preceduto da una serie di altri contributi in cui si metteva a fuoco la centralità del sistema scolastico universitario per la formazione del tecnico capace di applicare nel campo dei beni culturali le potenzialità della cultura digitale. Anche in occasione della pubblicazione *In ricordo di Michele Cordaro. Atti della giornata di studio* (Roma, 5 luglio 2000), Roma 2001, Settis è tornato a ribadire che i contenuti sono inseparabili dal modo in cui sono strutturati per cui *framework* e contenuto vanno progettati assieme. Nel momento in cui abbiamo chiesto a Settis di fornire il suo scritto come contributo al dossier egli ha sottolineato come la situazione, rispetto al momento in cui gli articoli sono stati scritti, non sia cambiata affatto. E, in verità, non troviamo obiezioni possibili al suo pessimismo. Nel mese di ottobre 2002 è stato dato alle stampe il volume *Italia S.p.A.* che, nel capitolo IX titolato *L'illusione dei beni digitali*, riprende ed amplia alcuni dei contenuti già espressi, anche in questo contributo, riproponendoli in una nuova cornice scientifica: S. Settis, *Italia S.p.A., L'assalto al patrimonio culturale*, Torino 2002 [N.d.CC.].

Paola Moscati

DOSSIER

Archeologia e informatica: fra tradizione e rinnovamento

"Archeologia e Calcolatori": breve storia di un periodico

L'idea di fondare una rivista dedicata alle applicazioni informatiche nella ricerca archeologica è maturata, alla fine degli anni Ottanta, in seno all'Istituto per l'archeologia etrusco-italica del CNR, già da alcuni anni pionieristicamente impegnato nella sperimentazione delle nuove tecnologie computerizzate in diversi settori degli studi archeologici. Così Mauro Cristofani, direttore dell'Istituto, d'intesa con Riccardo Francovich e con il Dipartimento di archeologia e storia delle arti dell'Università di Siena, ha dato vita, con il sostegno di un Comitato scientifico internazionale, alla rivista annuale "Archeologia e Calcolatori", il cui primo numero ha visto la luce nel 1990 per i tipi delle Edizioni all'Insegna del Giglio.

Da tale data ha preso avvio un'esperienza senz'altro all'avanguardia e feconda di risultati, che ha condotto alla pubblicazione di tredici numeri. Gli obiettivi individuati per promuovere la nuova iniziativa editoriale sono stati nel tempo perseguiti e ampliati, con esiti certamente inaspettati rispetto alle previsioni; tali previsioni erano ovviamente legate a un incontro tra tecnologia e ricerca tradizionale che negli anni Ottanta appariva sporadico, frutto di iniziative isolate, piuttosto che di esperienze più ampie riferibili a vere e proprie correnti di metodo o a caratteristiche di scuole e che costituiva ancora da un lato una fonte di disagio e di diffidenza, ma dall'altro lato una possibilità di primeggiare nel settore scientifico con soluzioni innovative.

Gli aspetti vincenti, che hanno consentito alla rivista di stare al passo con i tempi e di incrementare negli anni il numero di contributi e di lettori, sono molteplici: l'attento e costante contatto con il panorama internazionale e la scelta del multilinguismo; la promozione di un rapporto dialettico tra archeologia e informatica, secondo un'impostazione che attribuisce pari peso al momento della riflessione teorica e a quello della sperimentazione; lo stretto collegamento fra l'analisi degli esiti raggiunti e l'esplicitazione del modello di rappresentazione dei dati e dell'approccio metodologico utilizzato; l'attenzione a evitare applicazioni foriere di esiti spettacolari ma privi di reale valore scientifico; il rispetto sempre vigile dell'equilibrio tra gli spazi dedicati agli aspetti tecnologici e a quelli più propriamente archeologici; il costante aggiornamento bibliografico, anche attraverso la classificazione sistematica delle informazioni raccolte; l'apertura verso le innovazioni, attraverso sperimentazioni intese a sviluppare progetti concreti capaci di stimolare anche nuove riflessioni teoriche.

La pubblicazione di numeri dedicati a tematiche di carattere metodologico e l'edizione di atti di convegni internazionali hanno consentito di coronare l'attività intrapresa, conferendo alla rivista quel ruolo, auspicato fin dal primo editoriale, di polo per la raccolta e la presentazione di progetti e di coordinamento per il superamento della frammentarietà delle esperienze. Inoltre, la scelta di dare spazio alle esigenze di elaborazione teorica, quale necessario complemento alla presentazione delle esperienze in corso, ha contribuito a dimostrare che

l'informatica archeologica è una disciplina con un proprio *status* e con una propria base metodologica che, al di là dei singoli settori d'indagine, offre lo spunto per un coerente e omogeneo sviluppo.

L'EVOLUZIONE DELLE TECNOLOGIE INFORMATICHE

Nel corso di questa attività editoriale più che decennale, è stato possibile individuare i settori della ricerca archeologica più direttamente e proficuamente coinvolti nell'uso degli strumenti informatici ed evidenziare le applicazioni più diffuse, delineandone al contempo lo sviluppo nel corso del tempo e verificandone la diffusione nei singoli settori della ricerca stessa. Si è così assistito a un inevitabile, vorticoso progredire delle tecnologie informatiche, che a sua volta ha comportato un'evoluzione nel tipo di approccio da parte degli archeologi all'automazione dei propri dati. Alcuni settori applicativi, in particolare, hanno risentito di tale sviluppo tecnologico: mi riferisco specificamente ai metodi di analisi statistica e alle banche dati, i due settori di più tradizionale applicazione in ambito archeologico, i quali peraltro hanno seguito nel corso del tempo due diversi tipi di evoluzione.

Nel caso dell'approccio quantitativo, dopo l'ampio sviluppo e il record di applicazioni registrati agli inizi degli anni Ottanta, a partire dalla fine di quello stesso decennio e poi in particolare nel corso degli anni Novanta si è notata un'indubbia flessione nell'uso delle tecniche statistiche. Nonostante ciò, la costante presenza nella rivista di articoli dedicati all'uso di tali metodi di indagine risulta senz'altro il frutto della particolare apertura del programma editoriale nell'accogliere contributi, relativi anche all'archeologia storica, rivolti a riflessioni su problematiche archeologiche che implicano la costituzione di liste tipologiche, la definizione di modelli non casuali di distribuzione spaziale delle testimonianze, l'approfondimento di questioni economiche, sociali e culturali complesse, nonché lo studio dei processi che hanno determinato la formazione e il consolidamento di specifici fenomeni.

È pur vero che in questo settore si nota sempre più una sensibile circoscrizione dei campi applicativi, rivolti in genere a problematiche di carattere archeometrico e di classificazione tipologica e morfologica di diverse classi di materiali, tra cui primeggiano - come d'altronde in passato - la ceramica e l'industria litica. Ciò rappresenta il segno di una specializzazione e di una settorializzazione, in cui la prospettiva dell'integrazione e dell'interpretazione di dati diversificati aprono la via da un lato alla sperimentazione di determinati approcci, quali ad esempio quello di Bayes, basato sulla teoria delle probabilità, e dall'altro lato all'approfondimento di tematiche già a lungo discusse, come quelle del campionamento statistico. Diverso è invece il caso delle tecniche di Analisi Spaziale dei dati: nate negli anni Settanta, esse hanno avuto un forte incremento proprio nel corso degli anni Novanta, con una sorta di 'riscoperta' strettamente collegata con l'affermarsi dei GIS, di cui costituiscono il naturale, necessario completamento.

Per quanto attiene alle banche dati, lo sviluppo delle tecnologie informatiche ha avuto una sensibile influenza anche nelle metodologie di catalogazione, in cui si è assistito alla naturale evoluzione verso l'uso dei sistemi multimediali. Anzitutto, le stesse pagine della rivista sono state testimoni del passaggio dal modello di strutturazione dei dati di tipo gerarchico a quello relazionale, che si è poi andato evolvendo fino ad affermarsi come il più idoneo a rappresentare il processo conoscitivo che si verifica nella realtà. Si è quindi assistito alle prime integrazioni fra dati alfanumerici e dati iconografici - tappa fondamentale per ogni studio di carattere documentario - mediante l'inserimento delle immagini all'interno delle banche dati.

Di qui al passaggio verso i sistemi multimediali, il percorso si è dimostrato assai breve, soprattutto in settori della ricerca dedicati, oltreché alla catalogazione, alla diffusione delle informazioni, alla didattica e alla musealizzazione. A ciò si aggiunga

l'annoso problema della pubblicazione dei risultati delle ricerche, che non poteva restare avulso, a partire dalla metà degli anni Novanta, dal crescente fenomeno della diffusione dei dati in linea e dal riconoscimento delle potenzialità delle reti telematiche, indirizzate verso la sperimentazione di nuove forme di comunicazione.

Gli anni Novanta, del resto, sono stati forieri anche di numerose altre novità: il potenziamento delle tecniche di acquisizione e di trattamento delle immagini e della grafica computerizzata e soprattutto l'avvento e la diffusione dei GIS. Questi ultimi, in particolare, hanno offerto la piattaforma ideale per l'integrazione fra dati di natura diversa e in particolare per l'inserimento, nel contesto informativo, dell'elemento spaziale: elemento imprescindibile in ogni forma di documentazione dei beni. Anche nel settore della grafica computerizzata, le sperimentazioni hanno fatto registrare sviluppi notevoli, che in ambito archeologico hanno trovato un sensibile riscontro soprattutto nella cartografia numerica - modello dinamico di rappresentazione della realtà, parte integrante di ogni sistema informativo territoriale e preziosa fonte di dati per la realizzazione di modelli digitali del terreno - e nelle ricostruzioni tridimensionali, sperimentate anche per simulare l'aspetto originario dei monumenti antichi, al fine della diagnosi del loro degrado e della proposta di eventuali interventi di restauro.

Un discorso a sé stante - anche se strettamente connesso con l'evoluzione dei sistemi multimediali, del trattamento delle immagini e della grafica computerizzata - va riservato alle tecniche informatiche di visualizzazione interattiva, meglio note come Realtà Virtuale, che si propongono di progettare ambienti tridimensionali e di animarli in tempo reale. Si tratta in sostanza di realizzare modelli di simulazione spaziale che permettono all'osservatore di collocarsi al loro interno e di 'navigarvi' in modo virtuale; tradotto in termini archeologici, lo scopo perseguito è di giungere, attraverso la realizzazione di modelli virtuali, all'esplorazione di realtà archeologiche differenziate, quali paesaggi, città, monumenti, oggetti mobili, singole strutture murarie o sequenze stratigrafiche all'interno di uno scavo.

In questo settore è apparso più forte che in altri il rischio di esaltare le potenzialità tecniche ed espressive del mezzo informatico e di rivolgersi quindi all'aspetto della comunicazione visiva più che al contenuto della realtà archeologica rappresentata e 'animata'. L'esistenza di una sede editoriale, attenta a privilegiare gli aspetti metodologici della ricerca, ha consentito di rivalutare l'intervento fondamentale dell'archeologo, il quale deve verificare l'esattezza e l'integrazione delle diverse fasi di acquisizione, elaborazione e restituzione delle informazioni; tali fasi concorrono alla realizzazione del modello e alla sua validazione, in base alla coerente corrispondenza con la realtà antica che esso è chiamato a rappresentare.

Fra tradizione e rinnovamento

La feconda attività scientifica che emerge dalle pagine di ogni volume di "Archeologia e Calcolatori" consente oggi di delineare, come in uno spaccato di una situazione più generale, alcune tendenze evolutive che hanno concorso alla determinazione di nuovi percorsi nell'utilizzazione dell'informatica in archeologia e, al contempo, di dimostrare la profonda incidenza delle tecnologie informatiche sulle metodologie di ricerca tradizionali. È mia intenzione, pertanto, analizzare alcuni degli aspetti più evidenti, che da un lato sono strettamente legati all'approfondimento di questioni metodologiche proprie dell'archeologia e dall'altro lato si inseriscono direttamente nelle problematiche più generali dell'innovazione tecnologica.

Anzitutto v'è il problema dell'omologazione nella descrizione del record archeologico, un tema che rientra a buon diritto nel dibattito di carattere linguistico, particolarmente vivace nel corso degli ultimi decenni, sulla terminologia specialistica. Tale problema, affrontato soprattutto nelle espe-

rienze realizzate a livello amministrativo centrale per la definizione di standard per la normalizzazione dei processi di schedatura e di descrizione dei dati, è stato in genere risolto nella pratica archeologica con la definizione a priori di dizionari terminologici.

Prospettive di soluzioni diverse sono oggi offerte dalla diffusione dei linguaggi di marcatura, nati per soddisfare l'esigenza di rappresentare i documenti in formato elettronico e basati su un insieme di istruzioni orientate alla descrizione dei principi di strutturazione, composizione e impaginazione del testo. A partire da SGML (Standard Generalized Markup Language), da cui deriva HTML (HyperText Markup Language) e XML (eXtensible Markup Language), oggi in via di espansione, l'uso della rete ha determinato un'ampia diffusione di questi linguaggi sia negli ambienti dell'amministrazione centrale sia in quelli della ricerca scientifica. Attraverso la marcatura, questi 'metalinguaggi' consentono di evidenziare le unità strutturali di un testo, che possono assumere simultaneamente il valore di elementi descrittivi e di elementi interpretativi. Il procedimento tradizionale, dunque, si ribalta in quanto prima viene definito un insieme di norme formali riferibili alla struttura descrittiva del testo e in un momento successivo, quindi a posteriori, vengono stabilite le liste terminologiche, tenendo anche conto dei diversi contesti in cui esse sono utilizzate.

A proposito del concetto di 'contesto', e sempre nell'ottica dello stretto rapporto fra metodologie informatiche e ricerca archeologica, è interessante notare il legame che si è creato fra l'approccio alla ricerca che caratterizza l'indirizzo di studi definito appunto archeologia contestuale e la sperimentazione dei GIS. Sotto l'ottica informatica, infatti, una delle novità attribuite ai GIS è l'integrazione, cioè la possibilità che essi offrono di archiviare e gestire in modo integrato e all'interno di un'unica piattaforma informazioni di natura diversa, secondo un modello funzionale di tipo logico-relazionale che dalle banche dati di tipo tradizionale si estende agli archivi a connotazione spaziale.

L'introduzione dei GIS ha quindi consentito di focalizzare l'attenzione sul problema dell'inserimento dei dati all'interno del loro contesto geografico, valorizzando la conoscenza globale del territorio, attraverso la ricostruzione storica del suo assetto politico, sociale ed economico. Oltre all'integrazione, in un ambito concettuale unitario, fra informazioni di carattere diverso (base fondamentale per la conoscenza e l'interpretazione del patrimonio archeologico), i GIS hanno consentito di risolvere con precisione il problema della localizzazione dei beni, ora georeferenziati su basi cartografiche digitali e quindi caratterizzati da una precisa connotazione spaziale (tappa fondamentale per la tutela e la valorizzazione del patrimonio).

Passando dai problemi di descrizione e acquisizione delle conoscenze alla loro diffusione, e tenendo conto che l'informatica ha per obiettivo il trattamento e la trasmissione delle informazioni, non potevano certo rimanere avulse dal dibattito archeologico le questioni inerenti alla comunicazione. L'archiviazione, lo studio e la pubblicazione dei risultati delle ricerche archeologiche costituiscono, infatti, il fondamento delle interpretazioni degli archeologi e hanno un ruolo importante anche per la salvaguardia dei beni. Le diverse forme di pubblicazione archeologica sono ben note; in ragione, però, dei costi sempre crescenti, l'edizione tradizionale diviene spesso difficilmente assicurabile dalle istituzioni. L'impatto della tecnologia nel mondo delle pubblicazioni scientifiche archeologiche, anche se a tutt'oggi ancora assai limitato, ha senz'altro posto in luce alcuni vantaggi rispetto al supporto cartaceo: minori tempi e costi di pubblicazione; minori problemi riferibili alla mole dei dati da pubblicare e maggiori potenzialità per la documentazione iconografica; superamento, proprio attraverso le caratteristiche della rete, del concetto di un unico spazio di memoria fisica in cui debbano risiedere tutti i contributi.

Finora alcune soluzioni, prospettate nella rivista fin dalla metà degli anni Novanta, si sono orientate verso la proposta di dedicare all'edizione cartacea solo alcune categorie di informazioni - ad esempio le interpretazioni - e di realizzare la pubblicazione dei cataloghi in forma elettronica; un reale contributo alla rivoluzione nell'uso dell'editoria elettronica dovrebbe però potenziare il principio di mettere a disposizione e rendere consultabili e interrogabili in rete anche gli archivi dei dati. In molti casi, tra l'altro, tali archivi sono già sotto forma di banche dati e costituiscono uno strumento privilegiato per l'organizzazione delle informazioni: sarebbe dunque proficuo rendere pubblico anche il software utilizzato per la loro realizzazione.

Resta, infine, da affrontare il problema più generale della formalizzazione dei dati, argomento sempre presente, in modo più o meno evidente, nei contributi della rivista di carattere metodologico, in quanto costituisce il momento essenziale di ogni approccio informatizzato inteso non solo alla rappresentazione e alla classificazione dei dati ma anche alla definizione della loro struttura interpretativa, all'interno di un approccio spiraliforme, che va dall'osservazione empirica fino alla formulazione di ipotesi e viceversa. La formalizzazione, infatti, non concerne esclusivamente la rappresentazione delle informazioni di base da cui prende avvio ogni successiva analisi, ma abbraccia anche i ragionamenti, permettendo in tal modo di passare dai problemi descrittivi a quelli epistemologici e di collegarsi ai più recenti sviluppi del pensiero teorico, che ha visto l'affermarsi della cosiddetta archeologia cognitiva. Questo processo di formalizzazione, inteso a superare le fasi puramente documentarie della ricerca per abbracciare le costruzioni interpretative dell'archeologia, deve necessariamente ricercare le virtù conoscitive delle interpretazioni e delle sistematizzazioni proposte all'interno di esperienze di ricerca che abbiano un carattere applicativo e non solo teorico.

Il riscontro sociale e professionale

Di fronte all'inevitabile diffusione delle tecnologie informatiche, che costituiscono ormai una nuova forma di alfabetizzazione, si aprono vie innovative di acquisizione della conoscenza e di trasmissione del sapere che coinvolgono problematiche non solo legate al mondo della ricerca ma che investono anche in modo più generale la società e il mondo del lavoro.

Alcuni esempi, che emergono sempre dalle pagine di "Archeologia e Calcolatori", possono essere presi a dimostrazione di questa evoluzione, che nasce dal confronto dialettico fra discipline diverse e che ha una ricaduta nei vari ambiti professionali. Prima di tutto il rinnovato rapporto tra il mondo della ricerca e quello dell'amministrazione pubblica, così come tra le esigenze della salvaguardia e quelle della pianificazione. La collaborazione sicuramente fruttifera tra gli studiosi dei due settori viene intesa non più come reciproca limitazione, bensì come mutuo risparmio di energie e come possibilità di utilizzare dati specialisticamente differenziati per giungere all'obiettivo comune della valutazione del grado di vulnerabilità del patrimonio e alla proposta di criteri generali per la prevenzione e la valorizzazione delle aree a rischio, anche in relazione agli interventi connessi con le moderne opere di urbanizzazione. In questo senso, l'utilizzazione dei GIS e della cartografia archeologica ha sicuramente agito come elemento unificante delle diverse indagini; in particolare, la cartografia numerica è oggi intesa come uno strumento operativo, orientato verso una politica di intervento sul territorio, di tutela e valorizzazione oltreché di conoscenza.

Altre interessanti riflessioni scaturiscono, ad esempio, dalle nuove forme di rappresentazione e accesso alle informazioni, legate sia al concetto innovativo di pubblicazione sia alle nuove possibilità di reperimento dei dati. Nel settore della diffusione scientifica dei dati, l'uso del supporto magnetico come base planare di scrittura comporta nuove

forme di lettura, così come un sistema multimediale, integrando diversi tipi di documenti in un unico, nuovo oggetto comunicativo, consente la gestione interattiva di informazioni di natura diversa. Un ipertesto, inoltre, rompendo la linearità del testo tradizionale e la sua organizzazione sequenziale, offre al lettore la possibilità di selezionare il percorso più idoneo a soddisfare il proprio desiderio di conoscenza ('libertà' comunque relativa, in quanto si possono seguire itinerari diversi, ma in ogni caso prestabiliti dall'autore). Se il lettore ipertestuale è libero di muoversi all'interno di una mappa tracciata dall'autore, a sua volta l'autore, rispetto a una stesura tradizionale, non deve preoccuparsi solo di progettare una strategia di scrittura, ma anche una di lettura. Ancora da sviluppare è un approccio maggiormente dinamico ai documenti, che preveda la modifica del testo, anche da un punto di vista strutturale, a seconda delle vie di lettura scelte dall'utente.

Nell'incontro ormai consolidato fra le nuove tecnologie informatiche e i beni culturali, sono mutate anche le possibilità di reperimento delle informazioni, che seguono oggi vie legate alle reti telematiche. Ad esempio, rispetto alle biblioteche tradizionali, quelle digitali offrono la possibilità di accedere in linea non solo ai cataloghi ma anche alla consultazione dei dati. In questo caso, il nuovo mezzo tecnologico, oltre a capovolgere l'approccio tradizionale, permette di superare il problema della distanza fisica fra il lettore e la fonte di informazione e di abbreviare il tempo che intercorre fra la ricerca dell'informazione e il momento in cui essa diviene disponibile.

Rilevanti, anche ai fini di un mutamento sociologico nel rapporto tra il grande pubblico e il mondo della ricerca scientifica, sono le possibilità di applicazione nel campo educativo e culturale. Qui emerge prepotentemente il settore museale, dove primeggia l'uso dei sistemi multimediali e delle tecniche di Realtà Virtuale. La tendenza generalizzata è quella di offrire, con strumenti innovativi, una riproduzione del museo reale, imitando nella virtualità un approccio dell'utenza di tipo tradizionale e incentrando l'attenzione, nel dibattito che ne è scaturito, esclusivamente verso la necessità di favorire il passaggio dall'informazione alla partecipazione. Le tecniche multimediali, invece, dovrebbero contribuire all'analisi - e quindi allo sviluppo conoscitivo - sia attraverso l'esplicitazione delle metodologie adottate sia e soprattutto mettendo a disposizione, possibilmente attraverso banche dati, complessi di informazioni e strumenti di ricerca di incomparabile importanza per il mondo scientifico.

Veniamo, infine, al problema della definizione di nuove professionalità, che si possono riassumere nella figura dell'archeologo informatico.

"Archeologia e Calcolatori" costituisce ancora una volta un esempio di notevole rilevanza ai fini di delineare un'evoluzione degli studi attraverso i suoi protagonisti. Nella rivista, infatti, si trovano i contributi di tre diverse generazioni: dagli studiosi che hanno fatto la storia delle applicazioni informatiche in archeologia, a coloro che ne hanno seguito le orme, sperimentando e sviluppando gli insegnamenti dei Maestri in diversi settori applicativi, alle nuove generazioni di archeologi informatici, che si confrontano ormai con un mondo della ricerca scientifica di cui le nuove tecnologie sono una parte integrante.

La maggiore facilità di accesso alle fonti informative, la disponibilità di strumenti hardware e software di elevate potenzialità, il favore ormai generalizzato verso le nuove tecnologie negli ambienti dell'amministrazione e della ricerca, sicuramente rendono il compito più semplice alle nuove generazioni. Del pari, l'inserimento nella didattica universitaria di corsi dedicati in modo specifico alle applicazioni informatiche alla ricerca archeologica, seppur ancora privi di una stabilità istituzionale che potrebbe derivare solo dal riconoscimento di un raggruppamento disciplinare specificamente rivolto all'informatica umanistica, consente una formazione dei giovani più adeguata. Resta

inteso che il compito fondamentale per chi insegna è di conservare e rendere manifesta la memoria storica di quanto è avvenuto nel passato, in modo da rivalutare il processo metodologico e dimostrare che l'evoluzione tecnologica deriva da una serie di passi successivi, l'uno strettamente connesso all'altro, di cui si deve tenere conto per sviluppare applicazioni originali che possano sollecitare nuove riflessioni teoriche.

Considerazioni conclusive

La via seguita in questi anni dalla rivista dimostra che un approccio interdisciplinare seriamente perseguito consente di superare gli ostacoli incontrati e di giungere alla definizione di vie innovative di ricerca, in cui lo strumento informatico costituisce un supporto che integra metodologicamente l'indagine archeologica. Gli elementi che hanno contribuito, e che contribuiscono tuttora, a questo felice incontro sono molteplici e si possono individuare all'interno di problematiche sia informatiche sia archeologiche.

In sintesi, da un lato si potrebbero citare la trasparenza, che implica la dichiarazione formale dei principi e dei metodi adottati; la salvaguardia della portabilità dei dati; l'uso di standard descrittivi riconosciuti internazionalmente per la codifica delle informazioni; l'integrazione degli strumenti e dei sistemi adottati e la costituzione di reti; la realizzazione di modelli dinamici in contrapposizione a procedimenti statici di archiviazione e interrogazione della documentazione. Dall'altro lato, si potrebbero indicare la descrizione formalizzata dei dati archeologici e delle loro relazioni, per prevedere la complessità strutturale di un contesto archeologico in tutti i suoi aspetti; l'attenzione alle fasi di descrizione (documentazione) e di interpretazione (rappresentazione) del *record* archeologico, e dunque sia al momento della codifica sia a quello del modello; la diffusione di nuove forme di presentazione delle conoscenze, più favorevoli alla consultazione interattiva che alla lettura passiva.

Il presente articolo, redatto su invito dei curatori di questo dossier che vivamente ringrazio, è il frutto di una serie di riflessioni sull'informatica archeologica e sui suoi aspetti evolutivi, così come essi possono essere desunti dalle pagine di "Archeologia e Calcolatori". Per i riferimenti bibliografici si rimanda al sito web ‹http://soi.cnr.it/archcalc›, dove è possibile consultare gli indici dei singoli volumi della rivista, trovare gli articoli suddivisi in base alle tematiche trattate e interrogare per autore, anno e soggetto la banca dati che raccoglie i singoli contributi pubblicati. In questa banca dati, il campo relativo al soggetto è stato suddiviso in due sezioni distinte: la prima concerne i 'descrittori della tipologia informatica', che tengono conto delle diverse metodologie di trattamento informatico dei dati, mentre la seconda concerne i 'descrittori dell'ambito disciplinare', che si rivolgono ai diversi settori della ricerca archeologica direttamente coinvolti nella sperimentazione.

Bibliografia

M. Cristofani, R. Francovich, *Editoriale*, "Archeologia e Calcolatori", 1990, 1, pp. 7-8.

P. Moscati, *"Archeologia e Calcolatori". Una nuova rivista per gli studi sull'età storica*, "Bollettino d'informazioni del Centro di elaborazione automatica di dati e documenti storico artistici della Scuola Normale di Pisa", 1990, 11, pp. 181-198.

Eadem, *"Archeologia e Calcolatori": una nuova prospettiva*, in AA.VV., *Calcolatori e Scienze Umane*, Atti del Convegno, Roma 1991, Milano 1992, pp. 33-49.

Eadem, *"Archeologia e Calcolatori". A New Italian Journal in the Field of Archaeology and Computer Science*, in AA.VV., *Data and Image Processing in Classical Archaeology*, Proceedings of the International Conference (Ravello 1992), "Archeologia e Calcolatori", 1993, 4, pp. 329-335.

Eadem, *Archeologia e Calcolatori: dieci anni di contributi all'informatica archeologica*, "Archeologia e Calcolatori", 1999, 10, pp. 343-352.

F. Roncalli, *Editoriale*, "Archeologia e Calcolatori", 2002, 13, pp. 7-8.

DOSSIER

Filippo Petrignani

Documentazione digitale nel restauro degli affreschi michelangioleschi della Cappella Sistina

Fig. 1
Michelangelo,
La Creazione di Adamo.

Ogni restauro è fonte di una messe pressoché inesauribile di informazioni, destinate da un lato a guidare e confortare le scelte operative in sede di intervento, dall'altro a chiarire le modalità del processo creativo, fornendo indizi – e a volte anche prove – sui problemi cronologici, iconografici e stilistici collegati alla genesi dell'opera d'arte.

FABRIZIO MANCINELLI[1]

Il restauro degli affreschi michelangioleschi della Cappella Sistina, eseguito tra il 1980 ed il 1994, costituisce senza alcun dubbio uno tra i più importanti tentativi di applicazione delle tecnologie informatiche e digitali nell'ambito di un intervento di restauro[2] (fig. 1).

Il ricorso ad un sistema automatico di registrazione dei dati si è reso di fatto necessario a causa dell'enorme mole di informazioni che venivano raccolte man mano che il lavoro procedeva, in quanto l'intervento ha interessato una superficie di oltre 1000 metri quadrati di affresco.

I dati riguardavano soprattutto la tecnica esecutiva di Michelangelo, che per la prima volta nella storia veniva analizzata con meticolosa precisione, grazie anche al fatto che la pulitura della superficie pittorica rendeva disponibili tutti quegli elementi utili ad una migliore comprensione dell'opera di Michelangelo, a cominciare dai segni di riporto dei cartoni e dalle tracce del disegno preparatorio.

Di fronte a questa prospettiva, che inevitabilmente stimolava l'interesse *in primis* degli studiosi e dei tecnici coinvolti nell'intervento di restauro[3], la direzione dei Musei Vaticani decise di creare una struttura operativa in grado di rilevare in maniera omogenea e scientificamente rigorosa una documentazione il più possibile capillare.

Obiettivo primario di tale struttura, composta inizialmente dai restauratori incaricati dell'intervento di restauro dallo storico dell'arte direttore dei lavori, dall'assistente del Reparto di arte bizantina medievale e moderna dei Musei Vaticani e da un collaboratore del reparto stesso, fu quello di 'siste-

1

matizzare' il metodo di rilevamento dei dati.

Ciò ha significato:

- stabilire una procedura sistematica e dettagliata per la ricerca e la raccolta dei dati, che fosse compatibile con i tempi e le attività connesse all'intervento di restauro;
- definire quali e quante classi di dati dovessero essere rilevati;
- creare una serie di tematismi grafici necessari a sintetizzare le informazioni raccolte.

In sostanza, furono stabiliti i seguenti criteri generali:

1. Il rilevamento dei dati era afferente alle seguenti tipologie principali: a) tecnica esecutiva; b) stato di conservazione; c) precedenti interventi di restauro; d) calcolo e mappatura delle misure principali degli affreschi e delle figure; e) mappatura dei punti di prelievo per le indagini scientifiche[4].
2. Le tipologie principali venivano divise in 8 classi di dati: a) 'giornate' di lavoro di Michelangelo con frecce di sequenza; b) dati sul riporto del cartone; c) altri dati riguardanti la tecnica esecutiva dell'artista; d) danni al supporto; e) danni al colore; f) sostanze estranee presenti sugli affreschi; g) misure delle distanze lineari e calcolo delle superfici; h) punti di prelievo.
3. La stesura dei tematismi grafici da utilizzare veniva affidata agli stessi restauratori incaricati dell'intervento, nella tradizione del Laboratorio restauro pitture dei Musei Vaticani[5].

In corso d'opera, tale programma venne ovviamente ampliato, in funzione delle necessità e dei risultati che venivano man mano acquisiti.

In particolare si decise di documentare inoltre, per la volta e per il Giudizio Universale, la mappatura delle inquadrature fotografiche da eseguire prima e dopo il restauro[6]. Per il solo Giudizio Universale:

- i test di pulitura effettuati prima del restauro;
- la cronologia degli interventi censori realizzati nel corso dei secoli;
- gli interventi censori rimossi durante il restauro.

2

Fig. 2
Veduta generale della volta della Cappella Sistina.

L'impostazione iniziale del progetto, che prevedeva di operare manualmente oltre che per la raccolta dei dati anche per l'elaborazione finale dei grafici[7] afferenti agli argomenti suddetti, subì un positivo stravolgimento in occasione della realizzazione, nel 1985, del rilievo fotogrammetrico della volta e del Giudizio Universale della Sistina[8] (fig. 2).

Una decisione in tal senso fu presa molto rapidamente, in quanto il rilievo doveva essere ultimato prima dell'allestimento del carro-ponte che sarebbe stato utilizzato per il restauro della volta.

Il progetto di ripresa, impostato sul metodo della multi stereoscopia, venne realizzato in modo tale da garantire la visione di tutti particolari, anche i più occulti, della volta e del *Giudizio Universale*[9]. Tale progetto venne elaborato dall'Università di

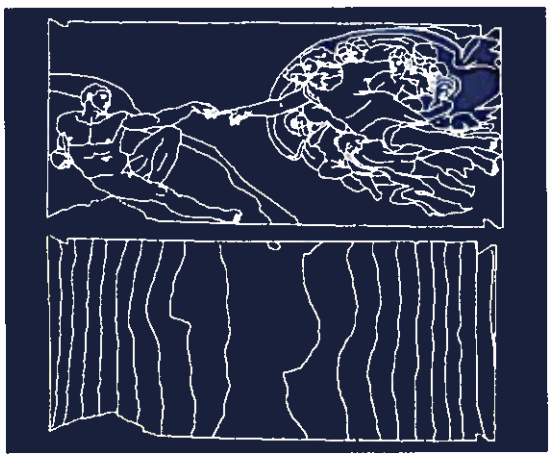
Firenze, con la collaborazione della Direzione generale dei Servizi tecnici del Governatorato della Città del Vaticano, del Gabinetto ricerche scientifiche Musei Vaticani e della società E.C.G. (Engineering Contractors Group) di Roma, incaricata del rilievo.

Conseguentemente alla successiva restituzione grafica, realizzata con l'ausilio di un fotorestitutore analitico che garantisse la visione stereoscopica e l'acquisizione geometrica degli elementi in 3D, furono rese disponibili su calcolatore e su supporto cartaceo indeformabile, in scala 1:5, le seguenti tipologie di informazioni:

- planimetria generale degli affreschi di Michelangelo;
- profili delle figure dipinte;
- altimetria (le cosiddette curve di livello, fig. 3);
- lesioni significative dell'intonaco.

Tale documentazione, mai realizzata prima di allora per un monumento della Città del Vaticano, al di là del suo utilizzo pratico in tutte le fasi del restauro, costituisce tutt'oggi un patrimonio di inestimabile valore per la direzione dei Musei Vaticani e per gli studi futuri sulla Cappella Sistina.

L'occasione fornita dalla fotogrammetria di potersi avvalere della rappresentazione grafica delle figure affrescate dal maestro fiorentino, precisa al centimetro rispetto alla realtà (fig. 4), convinse i responsabili del restauro della possibilità di rendere disponibile su calcolatore anche l'intera documentazione da rilevare sugli affreschi nel corso dell'intervento.



3

4

Fig. 3
Michelangelo, *La Creazione di Adamo*. Le curve di livello.

Fig. 4
Sovrapposizione del negativo in bianco e nero del cartone preparatorio di Michelangelo per la testa di Amman sul grafico di base in scala 1:1.

La struttura operativa venne pertanto allargata a due tecnici della Società E.C.G.[10] ed al sottoscritto, che aveva precedentemente maturato un'esperienza operativa con workstation grafiche ad elevate prestazioni.

Tale aggregazione costituì, in Vaticano, uno dei primi contatti concreti tra il mondo dell'arte ed il mondo dell'informatica. Nel corso di una serie di riunioni si prese atto della necessità di creare un'applicazione del tutto nuova per l'informatizzazione dei dati, avvalendosi delle potenzialità offerte dal prodotto Series 5000[11] in ambiente Unix[12]. Si stabilì che la struttura dell'applicazione dovesse utilizzare un database relazionale, nell'organizzazione del quale sviluppare al massimo la standardizzazione del *data-entry* attraverso l'impiego di un apposito menu che guidasse l'operatore, non necessariamente competente nel campo informatico, a selezionare le informazioni soltanto all'interno di una serie di scelte predefinite, ma pur sempre aggiornabili.

Applicando le regole di normalizzazione tipiche dei database relazionali, è stato possibile realizzare una struttura dei dati che, seppur complessa, risultava comunque sufficientemente snella e, assistita dall'interfaccia grafica dello Unix, rendeva tutte le operazioni di ricerca, inserimento e modifica delle informazioni grafiche assolutamente semplici ed estremamente veloci.

Alla preparazione delle specifiche di base del

software applicativo, protrattasi per circa dieci mesi, collaborò l'intera struttura istituita per rilevare la documentazione del restauro, e proprio dal costruttivo confronto delle diverse competenze si riuscì innanzitutto a risolvere la uniformazione del vocabolario, che costituì uno dei principali problemi di reciproca comprensione delle procedure operative.

Una volta stilata la struttura del programma sulla base dei criteri generali stabiliti in origine, venne compilata l'applicazione vera e propria utilizzando il linguaggio Fortran[13]. Il tracciato del software applicativo era ad albero, composto da una griglia di 6 sezioni principali e di ulteriori sottosezioni, di cui si fornisce la struttura nel box.

Struttura della documentazione (box 1)

A) Tecniche di esecuzione

1. Documentazione delle giornate e dei dati del riporto del cartone:
- linee di contorno delle giornate di lavoro di Michelangelo;
- frecce indicanti la sequenza delle giornate;
- numerazione progressiva delle giornate in cifre arabe;
- trasferimento del cartone mediante incisione indiretta;
- trasferimento del cartone mediante spolvero;
- tracce di incisione diretta eseguita a mano libera;
- tracce di incisione diretta eseguita con l'ausilio di fili, regolo o compasso;
- impressione di fili;
- impressione di rotelle;
- impressione delle dita delle mani o delle unghie;
- fori di chiodi per fissare i cartoni;
- fori di chiodi per fissare fili o compasso;
- tracce del disegno preparatorio.

2. Documentazione degli altri dati relativi alle tecniche esecutive:
- parti eseguite a secco;
- pentimenti dell'artista realizzati in affresco;
- pentimenti dell'artista realizzati a secco;
- piccole correzioni ad affresco realizzati dall'artista nel corso dell'esecuzione;
- preparazione del pentimento eseguita mediante graffiatura;
- preparazione del pentimento eseguita mediante rimozione dell'intonaco;
- piccoli ritocchi di correzione dei danni dovuti all'umidità;
- dorature a missione;
- dorature a conchiglia.

B) Stato di conservazione

1. Documentazione dei danni al supporto:
- distacchi dell'intonaco (arriccio);
- distacchi dell'intonaco (intonachino);
- lesioni dell'intonaco (crepe);
- lesioni della struttura muraria;
- lacune;
- danni dovuti ad infiltrazioni d'acqua;
- bottaccioli;
- interventi di consolidamento precedenti (mattoni);
- interventi di consolidamento precedenti (grappe metalliche).

2. Documentazione dei danni al colore:
- danni dovuti ad infiltrazioni d'acqua (alterazioni da salificazioni);
- danni dovuti ad infiltrazioni d'acqua (corrosioni da silicati);
- lacune;
- cadute di colore;
- sollevamenti del colore;
- abrasioni;
- danni da corpi contundenti;
- graffi (zone);
- graffi isolati;
- fori di precedenti consolidamenti;
- cadute di doratura.

3. Documentazione delle sostanze estranee presenti sull'affresco:
- fumi;
- polveri;
- colle;
- cere;
- tipologia delle grappe e dei chiodi;
- ritocchi e ridipinture (eseguiti a secco con differenti metodologie);
- rifacimenti in affresco;
- velature;
- stuccature eseguite in precedenti interventi;
- scritte e graffiti.

4. Documentazione degli interventi censori eseguiti sul *Giudizio universale*:
- interventi censori eseguiti ad affresco da Daniele da Volterra;
- interventi censori eseguiti a secco da Daniele da Volterra;
- altri interventi censori eseguiti a secco;
- interventi censori rimossi nel corso del restauro 1991-1994.

C) Mappatura dei punti di prelievo per analisi chimiche e stratigrafiche
- posizionamento del punto di prelievo;
- visualizzazione del punto di prelievo selezionato;
- modifica automatica del posizionamento del punto di prelievo;
- numerazione progressiva dei punti di prelievo in cifre arabe;
- tipologia dell'analisi richiesta (chimica o stratigrafica);
- informazioni suppletive richieste (fino ad un max di 60 caratteri).

D) Mappatura delle inquadrature fotografiche da eseguire prima e dopo il restauro
- abilitazione di un riquadro proporzionale al formato della foto richiesta;
- posizionamento del riquadro;
- modifica automatica del posizionamento del riquadro;
- modifica automatica della scala del riquadro;
- modifica automatica del colore del riquadro.

E) Documentazione dei test di pulitura eseguiti sul Giudizio universale
- test di pulitura eseguiti nel marzo 1990;
- test di pulitura eseguiti nel settembre 1990.

F) Misure degli affreschi
- calcolo automatico delle misure degli affreschi tra due punti dati;
- visualizzazione delle misure in forma grafica;
- memorizzazione automatica delle misure calcolate e confronto in tempo reale con altre misure di scene o dettagli analoghi.

5

Fig. 5
La stazione grafica Apollo sul ponteggio di restauro del *Giudizio Universale*.

La versione definitiva del software applicativo venne approntata alla fine del 1986 ed è stata utilizzata ininterrottamente negli ultimi quindici anni, a partire dalla Sistina, fino alla pubblicazione della documentazione grafica del restauro della Cappella Niccolina[14], con opportuni aggiornamenti elaborati dal sottoscritto.

Restava da definire la configurazione dell'hardware da utilizzare per la ricerca e la memorizzazione dei dati. La scelta cadde su una workstation grafica Apollo DN 3000[15], composta da:
- monitor 19 pollici alta definizione 1024x800 pixels;
- tastiera alfanumerica e mouse;
- tavoletta grafica Summagraphics II con stilo da utilizzare con il menu del software applicativo;
- plotter a penne Calcomp 1044 GT per la realizzazione di output su carta dei dati memorizzati.

Il microprocessore Motorola 68020, con 4 MB di memoria RAM (neanche paragonabile alla RAM dei computer attualmente sul mercato), era corredata da un disco rigido da 330 MB e possedeva una unità di backup che utilizzava *cartridges* da 60 MB per la salvaguardia ed il ripristino dei dati. Con questa configurazione sono state ottenute ottime prestazioni complessive, senza che mai si evidenziassero problemi di compatibilità tra le periferiche ed i vari moduli software.

Questa stazione grafica venne installata sul ponteggio di restauro della Cappella Sistina il 23 gennaio 1987 (fig. 5).

Tutti i dati raccolti potevano essere stampati immediatamente su carta in vari formati (anche 1:1) mediante il plotter Calcomp, collegato al computer ed anch'esso operante sul ponteggio di restauro.

Nei quasi otto anni di presenza dell'elaboratore elettronico sul ponteggio di restauro sono stati memorizzati circa due Gigabyte di dati, registrati in 30 *cartridges* attualmente conservati presso l'Archivio del Laboratorio restauro pitture dei Musei Vaticani.

Nel 1996 è stato eseguito il 'porting'[16] dei dati in files DXF, così da ottenere piena compatibilità con il software AutoCAD.

Un capitolo a parte merita l'elaborazione delle basi grafiche utilizzate per la memorizzazione dei tematismi di documentazione.

La restituzione grafica del rilievo fotogrammetrico, elaborata al fotorestiturore analitico, ha evidenziato i profili delle figure affrescate da Michelangelo in 3D, ed esse riproducono la reale curvatura della volta Sistina.

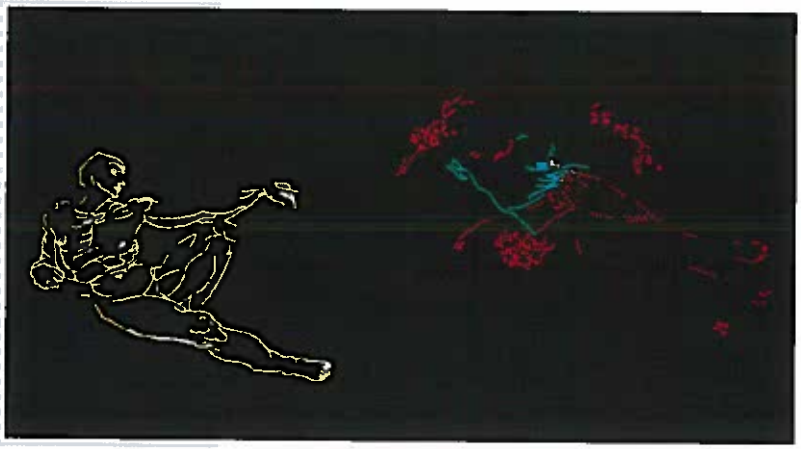
Tuttavia, per calcolare direttamente dall'elaboratore elettronico le misure degli affreschi ed applicare con maggiore precisione sulle basi grafiche con i profili delle figure la simbologia, necessariamente realizzata in 2D, relativa ai dati sullo stato di conservazione e la tecnica esecutiva, si decise di sviluppare sul piano queste immagini così da acquisire la rappresentazione grafica dei profili delle figure in 2D.

Così ottenuta, la rappresentazione grafica bidimensionale di ciascun affresco, mantenendo inalterate le dimensioni reali delle figure, poté essere assimilata ai perduti cartoni di Michelangelo.

Per ottenere questi cartoni si è quindi partiti proprio dai dati della campagna di rilevazione fotogrammetrica effettuata sull'affresco.

Tali dati, tridimensionali e riferiti tutti ad un'unica origine, insieme a quelli analoghi riferiti alle curve di livello della struttura della volta, sono stati utilizzati come se rappresentassero, geometricamente, una pellicola trasparente perfettamente aderente alla superficie della volta.

Un particolare algoritmo matematico, studiato ed implementato espressamente per questo progetto[17], ha provveduto a riportare sul piano tutti i contorni delle figure dell'affresco, mantenendo inalterate le dimensioni reali di ciascuna figura.



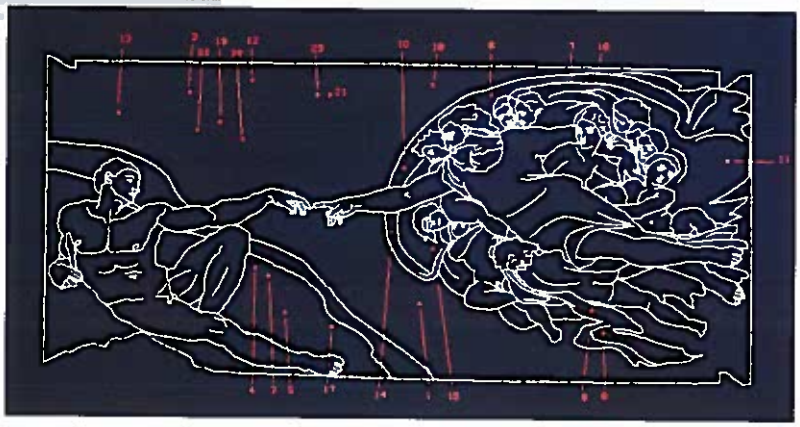


Fig. 7
Le tracce dell'incisione indiretta e dello spolvero nella scena della *Creazione di Adamo*.

Fig. 8
Grafico dei punti di prelievo della scena con la *Creazione di Adamo*.

tematismo sul menu della tavoletta e 'cliccando' sul punto esatto indicato dal cursore grafico.

Pur trattandosi di documentazioni essenzialmente in veste grafica, la banca dati del restauro degli affreschi michelangioleschi della Cappella Sistina conteneva anche informazioni alfanumeriche, legate in particolar modo ai grafici con le mappature dei punti di prelievo per le indagini scientifiche (fig. 8).

Qui le informazioni non erano solo di carattere grafico, ma avevano associate informazioni alfanumeriche (stringhe della dimensione massima di 160 caratteri) relative alla data di effettuazione del prelievo, la numerazione progressiva dei prelievi effettuati per ciascun affresco e le indicazioni date dai restauratori agli analisti per individuare il campione di pigmento o le sostanze estranee da analizzare.

Accedendo al menu dei prelievi secondo le medesime procedure seguite per posizionare i dati dei tematismi grafici, era possibile inserire o modificare le descrizioni[2] dei prelievi effettuati, contemporaneamente al posizionamento del punto preciso del prelievo stesso.

Tutti i dati grafici raccolti sono stati pubblicati in Italia dall'Istituto Geografico De Agostini di Novara nel *Rapporto sul restauro della Volta* e nel *Rapporto sul restauro del Giudizio Universale*, editi rispettivamente nel 1994 e nel 1999.

L'autore desidera porgere i suoi più sentiti ringraziamenti al dottor Francesco Buranelli, direttore dei Musei Vaticani ed alla dottoressa Edith Cicerchia, segretario dei Musei Vaticani, per aver favorito la pubblicazione di questo contributo, ed aver autorizzato l'uso delle immagini che lo corredano.

Bibliografia

- "Bollettino dei Monumenti, Musei e Gallerie Pontificie", 1983, IV.

AA.VV., *Michelangelo e la Sistina. La tecnica, il restauro, il mito*, Catalogo della mostra, Città del Vaticano 1990, Roma 1990.

S. Levialdi, C. Bernardelli (a cura di), *Representation: Relationship between language and image*, Atti del convegno, Viterbo 1991, Singapore 1992.

AA.VV., *Michelangelo. La Cappella Sistina*, Novara 1994, 3 voll. (restauro della volta).

AA.VV., *Michelangelo. La Cappella Sistina*, Città del Vaticano-Novara 1999, 2 voll. (restauro del *Giudizio Universale*)

W. Schmid (a cura di), *GraDoc. Graphic Documentations Systems in Mural Painting Conservation*, ICCROM Research Seminar, Rome 1999, Roma 2000.

AA.VV., *Il Beato Angelico e la Cappella Niccolina. Storia e restauro*, Città del Vaticano-Novara 2002.

Note

[1] F. Mancinelli, *Tecnica e metodologia operativa di Michelangelo sulla volta della Cappella Sistina*, in *Michelangelo. La Cappella Sistina*, vol. II: *Rapporto sul restauro degli affreschi della volta*, Novara 1994, p. 9.

[2] Il sistema di archiviazione dei dati è stato brevemente descritto, per la prima volta, nel volume *Michelangelo e la Sistina. La tecnica, il restauro, il mito*, Catalogo della mostra, Città del Vaticano, 1990, Roma 1990, pp. 125-126, e successivamente in: S. Levialdi, C.E. Bernardelli (a cura di), Atti del convegno *Representation: Relationship between language and image*, Viterbo 17-19 ottobre 1991, Singapore 1994, pp. 109-124. Una più completa descrizione degli aspetti tecnici del progetto software è stata pubblicata in W. Schmid (a cura di), *GraDoc. Graphic Documentations Systems in Mural Painting Conservation*, ICCROM Research Seminar, Rome 1999, Roma 2000, pp. 178-188.

Questa operazione, abbastanza semplice nella volta propriamente detta, che è in pratica assimilabile ad una superficie cilindrica, è risultata piuttosto complessa e difficile nelle vele e nei pennacchi angolari, superfici sostanzialmente sferiche ma con deformazioni anche non trascurabili.

Il lavoro, quindi, non ha potuto basarsi su semplici equazioni matematiche o geometriche, ma è stato eseguito analizzando localmente le coordinate tridimensionali dei contorni delle figure, proiettando ciascun segmento di cui sono costituiti detti contorni sul piano più vicino a quello tangente la superficie dell'affresco, nell'intorno spaziale individuato dal segmento in analisi, da quelli immediatamente contigui e dai segmenti costituenti le curve di livello eventualmente presenti nell'intorno in considerazione.

In altre parole, partendo da una zona sostanzialmente piana, quale ad esempio quella relativa al cosiddetto 'cervello' della volta, si è provveduto a ribaltare sullo stesso piano tutti i segmenti vicini ma non appartenenti al medesimo, mantenendo inalterate le dimensioni lineari ed alterandone solamente gli angoli con riferimento ai segmenti contigui, presenti nel piano di partenza ed in quelli ad esso vicini.

In questo modo nel ribaltamento sul piano si sono mantenute inalterate tutte le lunghezze dei contorni delle figure, ottenendo un'ottima analogia tra le misure nel piano e quelle reali nello spazio. Il buon risultato dell'operazione è certamente dovuto, comunque, all'alta densità di punti rilevati attraverso l'analisi fotogrammetrica con cui la superficie dell'affresco michelangiolesco è stata rilevata e rappresentata nel modello iniziale.[18]

Anche se l'aspetto delle figure, soprattutto nelle zone di superficie approssimativamente sferica, è risultato piuttosto deformato, il fedele mantenimento delle distanze relative ed assolute ha consentito un posizionamento ottimale dei tematismi rilevati nel corso dell'intervento di restauro, così come un facile calcolo delle aree di superfici originariamente non piane e dai contorni frastagliati.

6

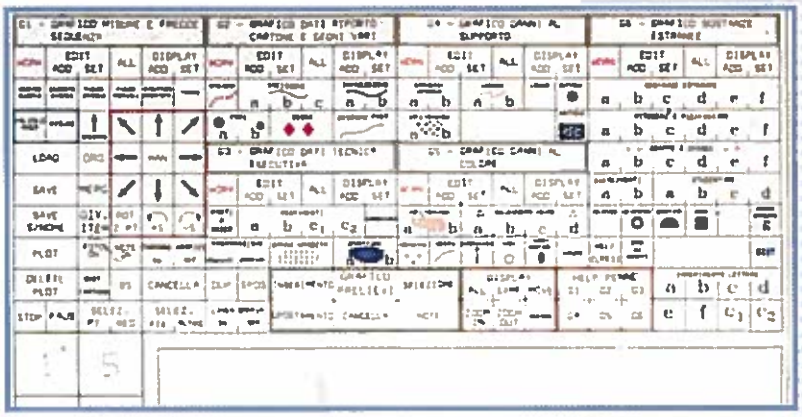


Fig. 6
Il menu del software applicativo: parte superiore della tavoletta di digitalizzazione.

All'avvio della procedura l'applicativo visualizzava sullo schermo il grafico di base, abilitando nel contempo le funzionalità del menu della tavoletta grafica (fig. 6) che consentiva l'utilizzo di tutte le funzioni principali della personalizzazione: inserimento, modifica e stampa dei tematismi grafici, che per praticità erano associati ad attributi numerici.

Questi attributi numerici consentivano l'individuazione e la distinzione analitica dei tematismi utilizzati[19]. L'uso contemporaneo della tavoletta e del mouse permettevano inoltre di utilizzare sia la barra degli strumenti del software di base, presente a video, sia le *control functions* del software applicativo, con notevole incremento della rapidità di inserimento o modifica dei dati.

La barra degli strumenti del Series 5000 consentiva di svolgere tutte le operazioni collegate alle immagini memorizzate, dalla visualizzazione dell'intera immagine sino al dettaglio (funzione di zoom), dalla creazione di una griglia di riferimento sull'immagine visualizzata all'evidenziazione di parti dell'immagine stessa, oltre al tracciamento di rette e segmenti ed al posizionamento di punti sulla stessa linea orizzontale o verticale ad un punto dato.

Le *control functions* dell'applicativo, abilitate dalla tavoletta grafica, consentivano di accedere a tutte le tipologie di dati da inserire, di effettuare ricerche, di visualizzare una lista dei grafici elaborati e dei tematismi utilizzati, di sovrapporre più grafici di uno stesso soggetto, di visualizzare soltanto i dati inseriti eliminando il grafico di base[20] (fig. 7).

Il posizionamento dei tematismi sul grafico di base veniva effettuato in modo assolutamente semplice, con l'ausilio dello stilo della tavoletta grafica o del mouse, utilizzando il pulsante dedicato a quel

[3] Si trattava del professor Carlo Pietrangeli († 1995), all'epoca direttore generale dei Musei Vaticani nonché direttore dei Laboratori di restauro degli stessi, del dottor Walter Persegati, in quegli anni segretario ed economo dei Musei Vaticani, del dottor Fabrizio Mancinelli († 1994), direttore dei lavori di restauro, a quel tempo direttore del Reparto di arte bizantina, medievale e moderna dei Musei Vaticani, del professor Gianluigi Colalucci, già capo restauratore del Laboratorio di restauro pitture dei Musei Vaticani ed oggi consulente per i restauri, coadiuvato dai maestri restauratori Maurizio Rossi († 1998) e Pier Giorgio Bonetti, nonché dal restauratore Bruno Baratti, della dottoressa Anna Maria de Strobel, assistente del Reparto di arte bizantina, medievale e moderna dei Musei Vaticani, del dottor Nazzareno Gabrielli, allora direttore del Gabinetto ricerche scientifiche dei Musei Vaticani, del professor Arnold Nesselrath, all'epoca dei restauri consulente ed oggi direttore del Reparto di arte bizantina, medievale e moderna dei Musei Vaticani, del professor Pasquale Rotondi († 1990, già direttore dell'Istituto centrale per il restauro dopo Cesare Brandi), e successivamente del professor Giorgio Torraca, in qualità di consulenti del Laboratorio di restauro pitture del Musei Vaticani.

[4] Da queste tipologie di documentazione è assente quella relativa all'intervento di restauro in corso. Tale carenza era dovuta alla non necessità di riportare graficamente ciò che veniva ben più completamente documentato dalla ripresa filmata di tutte le fasi di pulitura degli affreschi che, mostrando l'intera sequenza operativa della metodica di esecuzione dell'intervento in tempo reale, costituisce tutt'oggi documento assolutamente completo ed unico delle operazioni di restauro, dalle prove di pulitura al ritocco pittorico. Tale documentazione cinematografica, realizzata a cura della NTV (Nippon Television Network Corporation) di Tokyo tra il 1982 ed il 1994 consiste oggi in circa 90.000 metri di pellicola 16 mm per un totale di 162 bobine, conservate presso l'archivio del Laboratorio di restauro dei Musei Vaticani.

[5] Fin dal 1923, anno della sua fondazione da parte del professor Biagio Biagetti, i restauratori del Laboratorio restauro pitture dei Musei Vaticani, (oggi diretto dal maestro Maurizio De Luca, capo restauratore) hanno elaborato 'relazioni grafiche' di quasi tutti gli interventi di restauro eseguiti su pitture murali. Questi grafici, realizzati utilizzando come basi delle fotografie in bianco e nero oppure tratteggiando ad acquerello o a pastello i soggetti restaurati, costituivano a volte la sola relazione di restauro, quasi sempre affiancata comunque da un breve rapporto scritto. Tali relazioni grafiche sono oggi conservate presso l'archivio dei Laboratori di restauro dei Musei Vaticani.

[6] Per ogni soggetto venne realizzata una campagna fotografica basata su di uno schema grafico preventivamente approntato per programmare efficacemente il lavoro ed evitare lacune nella documentazione dei soggetti medesimi, che sono stati ripresi costantemente con la stessa inquadratura prima, durante e dopo l'intervento di restauro. Ogni fotografia venne eseguita sia in bianco e nero che a colori. Solamente per la volta furono eseguite circa 15.000 fotografie, attualmente conservate presso l'Archivio fotografico e l'archivio del Laboratorio restauro pitture dei Musei Vaticani. A cura del Gabinetto ricerche scientifiche dei Musei Vaticani vennero inoltre eseguite oltre 1000 riprese fotografiche all'infrarosso, all'ultravioletto ed alla luce monocromatica al sodio.

[7] Per quanto concerne il restauro delle lunette michelangiolesche, eseguito tra il 1981 ed il 1984, la documentazione venne raccolta dagli stessi restauratori, prima e dopo il restauro, avvalendosi di basi grafiche preparate da un disegnatore. Queste basi grafiche, pur essendo artisticamente più vicine all'originale disegno michelangiolesco di quelle elaborate successivamente al fotorestitutore analitico, certamente non potevano dirsi altrettanto precise.

[8] Per un monumento di tale rilevanza il rilievo fotogrammetrico era ampiamente giustificato, e poté essere realizzato anche grazie ad un generoso contributo pervenuto dall'esterno alla direzione dei Musei Vaticani. Infatti l'associazione dei Friends of American Art in Religion, che già aveva patrocinato numerose manifestazioni artistiche e culturali in Vaticano, convinse il noto collezionista e mecenate Hans Heinrich von Thyssen-Bornemisza († 2002) a finanziare con un generoso contributo il progetto di rilievo fotogrammetrico.

[9] La multi-stereoscopia consiste nel fotografare il soggetto, mediante camera metrica, sia con basi stereoscopiche verticali che orizzontali. Questo metodo, pur creando una sovrapposizione ridondante delle zone stereoscopiche, garantisce in ogni caso la visione dei particolari anche più nascosti. La prima positiva conseguenza dell'effettuazione di tale rilievo consisté nella possibilità di realizzare un modello in scala 1:20 della Sistina, interni compresi, progettato dall'architetto Massimo Alfieri e costruito dalla Società Fedele 82 di Roma. Tale rappresentazione tridimensionale, realizzata in occasione della Mostra *Michelangelo e la Sistina: la tecnica, il restauro, il mito* tenutasi al Braccio di Carlo Magno (Piazza San Pietro) nel 1990, contribuì al raggiungimento di un duplice obiettivo: sintetizzare i livelli di conoscenza raggiunti al riguardo del complesso architettonico sistino e consentire l'esame proporzionale e qualitativo dell'edificio, quale complesso unitario ove pittura e architettura si manifestano in quel rapporto di reciproca necessità che ha affascinato gli esteti e gli studiosi di ogni epoca.

[10] Si trattava dell'ingegner Luciano Sbordoni, amministratore unico della Engineering Contractors Group, e del

responsabile tecnico della suddetta società, ingegner Isidoro Rezzesi, oggi amministratore unico della RomCad S.r.l.

[11] Il software CAD (Computer Aided Design) denominato Series 5000, realizzato dalla AUTO-TROL Technologies di Denver, era un *general purpose* grafico, particolarmente adatto per la realizzazione di disegni in campo ingegneristico o architetturale. Questo software, che era stato utilizzato per elaborare la restituzione grafica del rilievo fotogrammetrico, nella versione base abilitava un menu a video che consentiva di disegnare con estrema facilità, utilizzando indifferentemente il mouse o la tavoletta grafica.

[12] Unix è un sistema operativo multiutente e *multitasking*, sviluppato originariamente nel 1969 per essere usato sui mini computer, che ancora oggi costituisce sistema operativo standard per *workstation* ad elevate prestazioni.

[13] Fortran, acronimo di FORmula TRANslation, letteralmente 'traduzione di formula', è stato il primo linguaggio per computer di alto livello e il progenitore di molti concetti chiave nel linguaggio di programmazione informatica, quali le variabili, le espressioni, le affermazioni, frasi iterative e condizionali, *subroutines* compilate separatamente e *input/output* formattati. Oggi il Fortran è tuttavia utilizzato con difficoltà, sebbene il linguaggio stesso sia stato esteso e migliorato enormemente negli ultimi 35 anni in modo da diventare un linguaggio utile in ogni campo.

[14] AA.VV., *Il Beato Angelico e il restauro della Cappella Niccolina*, Musei Vaticani, Novara 2002.

[15] Apollo Computer Inc., industria americana specializzata nella produzione di hardware normalmente utilizzati dall'industria bellica degli Stati Uniti, la cui caratteristica principale era la duttilità nella gestione di softwares ed immagini grafiche. Al termine della 'guerra fredda', nel 1991, Apollo cessò di operare per l'industria bellica e venne acquistato dal colosso informatico Hewlett-Packard, che oggi continua a produrre workstation grafiche utilizzando in parte il nome Apollo.

[16] Il software per l'esecuzione è stato realizzato dall'ingegner Rezzesi, mentre l'attuazione vera e propria del *porting* si deve all'impegno dell'ingegner Marco Lucani, dei Sistemi informativi del Governatorato dello Stato della Città del Vaticano, in collaborazione con il sottoscritto e con il signor Fabio Morresi, assistente del Gabinetto ricerche scientifiche dei Musei Vaticani.

[17] Il merito di tale studio ed elaborazione va ascritto esclusivamente all'ingegner Rezzesi, che risolse il problema dello sviluppo sul piano dei grafici in 3D con rapidità ed efficacia.

[18] Diversi test sono stati effettuati al fine di verificare la validità dei risultati che venivano ottenuti. Occorre ricordare, in particolare, la sovrapposizione di un foglio di carta semilucida delle dimensioni di 1 x 12 m circa, che riproduceva il grafico di base della campata con il Sacrificio di Noè, sull'affresco originale. Le linee corrispondevano perfettamente, tranne che nell'area di massima curvatura (le parti inferiori della volta) dove si aveva circa 1 cm di differenza. Tale procedura si è dimostrata estremamente efficace nel rivelare una eccellente analogia tra la rappresentazione grafica realizzata e il disegno originale di Michelangelo (cioè i contorni dell'affresco). Una prova ulteriore e direi conclusiva venne prodotta qualche tempo dopo, quasi per caso, in occasione del *Convegno Internazionale di Studi sugli affreschi di Michelangelo*, tenutosi in Vaticano nei giorni 26-31 Marzo 1990. Nel corso del suo intervento al convegno, dedicato alla tecnica dei cartoni di Michelangelo sulla volta, la dottoressa Carmen Bambach Cappel ha sovrapposto il negativo in bianco e nero in scala 1:1 di un frammento del cartone preparatorio di Michelangelo per la testa di Amman sul grafico di base in scala 1:1 della medesima area dell'affresco. I due disegni combaciavano perfettamente. Il frammento del cartone è oggi conservato al Museo Teylers di Haarlem, Olanda.

[19] Il software di base Series 5000 disponeva di oltre 250 simboli differenti.

[20] Questa peculiarità del software applicativo si rivelò molto interessante per i dati sul riporto del cartone (incisione indiretta, diretta e spolvero), poiché consentì di analizzare i metodi di trasferimento del cartone da parte di Michelangelo attraverso l'elaborazione di una tabella statistica delle figure affrescate con l'ausilio di un 'cartone sostitutivo'. Per questo studio analitico, si veda comunque: C. Bambach Cappel, *Problemi di tecnica nei cartoni di Michelangelo per la Cappella Sistina - Appendice: Tecniche di trasferimento del disegno da cartone nella volta della Sistina*, pp. 99-101 e E. Borsook, *Michelangelo e l'uso dei cartoni nella Cappella Sistina*, pp. 103-106, in K. Weil-Garris Brandt (a cura di), Atti del Convegno Internazionale di studi *Michelangelo. La Cappella Sistina*, Roma marzo 1990, Novara 1994.

[21] Il programma in realtà consentiva anche, a fianco delle 'richieste' dei restauratori, l'auspicato inserimento delle 'risposte' del Gabinetto di ricerche scientifiche dei Musei Vaticani (oggi diretto dal dottor Ulderico Santamaria), preposto alle indagini tecnico-scientifiche del restauro michelangiolesco. Tuttavia, nonostante la solerzia degli analisti, tali informazioni non furono mai inserite nella banca dati, a causa dell'enorme lavoro che il sottoscritto dovette svolgere, di concerto con i restauratori, relativo alla ricerca e alla memorizzazione dei dati sullo stato di conservazione degli affreschi e sulla tecnica esecutiva dell'artista.

Simon Warrack

DOSSIER

Simplifying AutoCAD for Restorers: Tradition and Innovation

Theory and Case Studies: Angkor Wat and the Obelisk of Axum

One of the qualifying components of a conservation operation is that it be correctly documented. It is now universally recognised that conservation is a critical and analytical process and as such it is particularly important that a conservation operation establishes its place in the chronology of the monument. This means that the research involved in a conservation operation must examine and analyse the past, assess the present and look towards the future. The significance of the monument must be understood; why it was built, what it represented to its builders, why changes occurred to the monument over the centuries and what is the significance and value of the monument today. It is the documentation of this analytical process, as well as the technical intervention, that places the research in the history of the monument and affirms the conservation operation as part of this.

Conservation is a continuous process in which we endeavour to reduce the effects of the agents of decay and to protect and present the authenticity of the monument. Therefore a conservation operation cannot end. Even if our role ends, the conservation of the monument must continue and therefore we must always be aware of our successors and to render their work as simple as possible. It is therefore our duty to leave accurate, comprehensible and easily accessible documentation for our successors.

Over the years there have been many attempts to use computers for recording the data generated during the various phases of a conservation operation, which have met with varying degrees of success. In this article it is intended to present one of these attempts, that has been developed and applied in a number of different sites and situations. The proof of the efficacy of a system lies in the success of its application and though this method is still evolving, it has been successfully used in a number of extremely different sites across the world, which have very different needs and requirements. Moreover the system has been shown to be simple to learn and to use, even though the programme, and the files generated, are sophisticated.

The system involves the customisation of the architectural drawing software AutoCAD and has developed as the programme has been gradually updated from the 12 to the 2000 versions. Indeed, as the software has been updated, so a collaboration grew between AutoDesk and the author, culminating in the presentation of the documentation system by AutoDesk for inclusion in the Computer World Awards linked with the Smithsonian Institute in the United States of America.

Objectives

It should be understood from the outset that the main objective of this system has been to develop a documentation system that would be easy for the conservators to use but that at the same time would also satisfy the needs of all phases of a conservation operation while at the same time providing the capacity to generate data that would be possible to analyse in a way that traditional methods do not allow. The aim was to keep all the traditional aspects of documentation of conservation operations while taking advantage of the enormous

potential offered by computers and in particular by the software AutoCAD 2000. This programme offers the possibility to create images files that are measurable and quantifiable at the same time as satisfying the graphic requirements of a conservation operation. This is possible because the programme is able to include photographic images as well as vectorised images as a background for mapping and is able to control and administer an enormous number of layers on which data can be stored.

However one drawback is that this programme, familiar to all architects, is extremely large and complex and can take a long time to learn. The system of customised menus and administration of layers that we have employed certainly holds no mysteries to a student of architecture because computer use and computer drawing skills are now part of every university course for architects. However the professional training of the conservator is already complex since the conservator must be expert in an enormous variety of disciplines in order to begin to approach the conservation of heritage, without obliging them to become experts in computer skills. So either this programme would have to be simplified or a simpler programme would have to be found. Since the type of information that can be generated by AutoCAD 2000 is versatile and exchangeable, it was decided to try and customise and simplify this programme.

Finally it is particularly important that the use of the software be easy to teach, since the conservation operations that are described in the case studies are not just conservation operations but are also training programmes. The documentation part of any conservation training programme is essential but it cannot take up too much of the time which should be dedicated the theory and practice of conservation on site. A complex documentation system would take up too much time in any conservation training programme.

However it is a complex business simplifying such a complex programme and the key to this system has been the collaboration between computer experts and conservators.

The Technology

AutoCAD 14, and now 2000, permit the use of a background drawing in various formats and a vast number of layers that can be superimposed. This is the equivalent of a base drawing with numerous transparent sheets, each of which can be used to record an individual class of information, allowing the comparative observation of the data. For a conservation operation on a single painting this could still be done on paper with the over layering of transparencies; however this traditional system becomes limited when dealing with large monuments or numerous objects. In the case studies that follow this will become clear. At Angkor there are nearly 2,000 bas reliefs that need to be documented, while the obelisk of Axum is a single object that is 24 metres tall which also poses specific problems. The use of the computer and this customised system enabled the conservators to overcome these difficulties and thus to record their conservation operations and research in a way that is traditional in its conception but modern in its execution.

Graphic and photographic programmes almost always include the possibility to use layers but since these programmes are formulated to satisfy the needs of graphic designers they are eventually limited in the context of a conservation operation which has broader technical as well as graphic needs. Moreover these graphic programmes rarely have the same possibility for customisation as that offered by AutoCAD 2000.

The Customisation of the Software

As noted above, the premise for the development of the documentation system was that the data should be recorded easily and accurately, and that the subsequent reading and analysis of the recorded data should be simple. It was therefore necessary that each data type recorded be viewable either

individually or on combination with other data recorded. The idea was that if each type of information were recorded on a separate layer, that it would be possible to turn the layers on or off as appropriate, and in this way to view the data in any number of combinations. This would mean that, should the viewer decide to compare, for example, the amount of stone subject to flaking, with the amount of the same surface treated with a consolidant, it would be possible simply by clicking the specially prepared buttons. AutoCAD also allows the viewer to calculate the surface area, which means that this system can become extremely useful to the conservator when costing operations, since it helps calculate easily the amount of the various products that will be necessary during the conservation operation.

The objective was, therefore, to create a specially customised system that would adapt the complex programme to our specific needs without putting pressure on the user to learn too much about the software. This involved the writing of a special menu that would transform the programme by including macros, linked to specially prepared buttons. So when the operator recording the data clicks on the button, he, for example, automatically turns off all the layers except the one allotted to that type of information, turns on the correct pen colour, scale, hatch pattern etc., without having to worry about what the computer is actually doing and without having to carry out five or six different operations. Basically he is able to record complex data in a complex system without having to worry about how this is being done.

In the first system that was developed all the data recorded for each of the classes of information (state of preservation, technique of execution etc.) would be recorded on the same layer, but this meant that it therefore had to be viewed all together. The massive quantity of information that was generated at Angkor meant that it was impossible to view all the information in the state of preservation table at the same time because there would be too much superimposition and it would become illegible. Therefore work was begun on placing each type of information on it's own layer that would render it viewable independently or at the same time as other types of information.

This was a lengthy business since, for the temple of Angkor Wat, more than 300 layers were used for the full documentation; however, gradually, a working menu was prepared and in 1997 it was first tested at Angkor and also on the Obelisk of Axum. At the same time the ICR in Rome was collaborating with the Getty Conservation Institute for the documentation of Siqueiros mural *America Tropical* in Los Angeles, California.

The customisation of the programme is a time consuming operation but the result has been a genuinely user-friendly screen with simple operations that are close to the original documentation techniques using paper and pens, so the teaching operation is really quite simple.

For instance the macro that is run by a single button might be as follows:

```
ID_ _55[_Button("Exfoliation",
"ICON4827.bmp", "ICON_24_BLANK")]^C^C_-
layer _t * _set staprel108 _f * _t
staprel215 _t xref;;^C^C^P_-linetype
_set continuous ;^P_-color 242 ^P_hatch
ansi31 10 90
```

This rather incomprehensible series of digits means, in effect, that when the button is pushed the appropriate layer is made active and all the others are frozen, the *xref* (eXternal REFerence file), or background drawing, is turned on, the line type and thickness of the line is determined, the type of hatch pattern is chosen along with the colour, angle and scale and it is inserted onto the correct layer. The combination of complex operations and decisions are all made for the operator the moment he clicks on the button that is called Exfoliation, so for the

operator the operation is the same as picking up a pen and outlining and area.

The computer automatically archives all this information on the appropriate layer so that later it can be viewed and analysed using the special pull down menus that are also written into the software during the customization process.

The Administration of the Layers

This is really the key to the effective simplification of the programme and was one of the most time consuming aspects of the preparation of the software. Since each class of information is recorded on a separate layer, and there are 300 layers in some cases, it is very important that it is the customised software that administers them rather than the user. The naming of the layers is the key departure point for this since, as a macro is written it has to be able to distinguish not just the layer, but also to group them in the correct way.

The information generated by a conservation operation is always divided into different tables (State of Preservation, Technique of Execution etc.) and the software has to recognise this. In order to produce a drawing, various areas are outlined, using the polyline function, and then filled, using the hatch function. In order to generate a drawing that is acceptable it is better that the lines can be switched off once the area has been outlined.

In order to do this it is necessary to put the lines on one layer and the hatch pattern on another, which means that the number of layers necessary is not only doubled but also that the naming of the layer has to take this into consideration. The macro always reads the name of the layer from right to left so the solution adopted for the naming of the layers was the following: the table is given a name such as 'stapre' for state of preservation and this is followed by an 'l' for the lines layers or an 'm' for the mapping layers. Finally the number of the layer can be added, and it is as well to give three digits so that many layers can be added in the future if necessary. So the final layer name for the first in the state of preservation table would be 'staprel100' and the first layer for the mapping layers in state of preservation would be 'staprem100'. Once the layers have been created the macros that administer them can be prepared.

The macro has to be able to freeze and activate the layers in the appropriate way and at the same time it has to be able to activate the correct drawing function. The macro line, already outlined above, is an example of how this can be done. It is generally easier to write and adjust the menu in DOS since this gives a clearer picture of the whole menu that is being written and customised. So it is necessary to use the 'shell' option in order to skip into the DOS mode from the AutoCAD programme. It is important to give the new menu a special name and to save it in a special directory, otherwise there is a risk of overwriting the original AutoCAD menu (acad.mns) which it is always useful to keep. The menu is activated by typing 'menu' in the command line and then browsing to the directory where the new menu has been saved.

Once the layers have all been prepared and the macros have been defined it is also necessary, and easier for the operator, if special buttons with their own icons are prepared, and this can be done using the 'customise' function, which can be found by right-clicking any button and then scrolling down to the bottom of the list of toolbars and then right-clicking again on the button that is to be edited. An edit button window will appear which is self-explanatory. It is important to save the new icons that are prepared in the Acad2000 directory that can be found in the Programme Files directory otherwise the programme cannot find the button's icon and substitutes it with an irritating smiling ☺ image.

Once the buttons are linked to the macros, the administration of the layers becomes active and the drawing system can be tested. Since this system uses an xref (external reference file) as a background drawing, it is necessary to attach the xref to a blank

drawing that contains all the specially prepared layers. Therefore it is a good idea to prepare a 'read only' file called layers.dwg, or something similar, so that this drawing can be used each time without losing the blank file by accidentally saving it as the final drawing. As soon as the xref is attached to the file with the blank layers it should be saved with a new name.

Once the drawing is finished and all the data has been recorded on the appropriate layers the toolbars can be turned off and the data can be viewed and compared using specially prepared pull down menus that administer the layers. In this way it is possible to superimpose any of the layers individually or in groups. It is thus possible to superimpose information as if they were on 200 individual transparencies simply by clicking the subjects on the pull down menus. The data is therefore not only recorded but is also rendered interactive, making it more than a simple recording device. In this way the customisation of the programme has created an integrated analytical tool.

Case Studies

Angkor Wat

Since 1997 the University of Applied Science Cologne has been implementing a conservation and research programme at the Temple of Angkor Wat (Fig. 1) called the German Apsara Conservation Project (GACP). Financed by the Ministry of Foreign Affairs of the German Government, conceived and directed by Prof. Dr. Hans Leisen, it was initially concerned with the conservation of the Apsara reliefs but has since extended to the conservation of all the endangered carved surfaces of this unique site. Working within the framework of the UNESCO World Heritage Site and in close collaboration with the APSARA Authority the project has carried out extensive diagnostic research into the causes and effects of the decay of the sandstone and has now defined and implemented a unique conservation programme that is specially customised around the needs of this very particular site and its problems.

One of the initial problems was posed by the massive quantity of carved reliefs at the temple: to give an idea of the extent of the decorations that were under examination, there are nearly 2,000 carved female figures (apsaras or devatas) in bas relief, nearly 1800 square metres of narrative reliefs in the galleries and more than 300 carved pediments to cite only the more important decorative elements. All the of these have been carefully examined and monitored by the staff of the GACP and the huge quantities of data that have been recorded need to

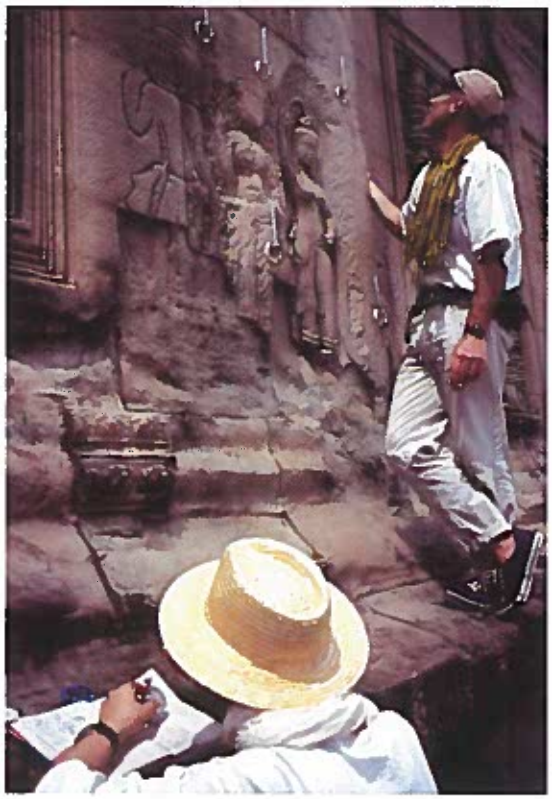


Fig. 1
A view of the temple of Angkor Wat from inside the Western Entrance.

Fig. 2
Testing the water absorption of the stone at Angkor.

be collected, archived and rendered accessible in the simplest way possible. For this reason it was clear that it would be necessary to use computerised technology for the recording of the data. In the context of a developing country, and in particular in the special context of Cambodia, where the education systems were so seriously damaged by the conflicts and genocide of previous decades, the problem must be approached in a special way and the training element of the conservation operation takes on a particular significance.

In a developing country, and especially in a World Heritage Site in a developing country, the training of local staff is a key element of any conservation activity that is planned and implemented. The combination of these two factors, the complexity of the site and the necessity to train the national staff who have not always had the benefits of a full education, meant that it was necessary to prepare a special programme. It was therefore especially important to prepare a method for the recording of the data collected during the conservation operation that would be easy to teach and easy for the local staff to use in the absence of the international project staff. For this reason the customisation of the AutoCAD programme for conservation needs became particularly relevant, and the preparation of a really user friendly system meant that it was ultimately possible to train the staff to use the system in approximately two weeks.

Previously, line drawings have been used as the background for the documentation and mapping of the conservation operations, but in this case it was implausible to prepare more than 2,000 line drawings and therefore it was decided that black and white photographs could represent a realistic alternative. The AutoCAD software allows the inclusion of photographs as external reference files and therefore it was possible to use these as a substitute for the line drawings (fig. 2). Obviously it was necessary to have high quality photographs that were taken with a minimum of parallax distortion, but since the project is run by the imaging science faculty as well as the conservation faculty, this was easily done and it was not long before all the carved surfaces had been photographed and scanned at high resolution by the students of this faculty. These photos were recorded on CDs and are now at the disposal of the conservators.

By using these photos as external reference files (xrefs) it is possible to conserve valuable space on the hard disk, since the specially prepared software creates a path to the photo on the CD; therefore, as long as the correct CD is inserted in the drive, the computer will automatically superimpose the layers over the photo for the purposes of the documentation operation, but it is not necessary to archive the high resolution photo (11Mb) on the hard disk.

The drawings are recorded on CDs as has

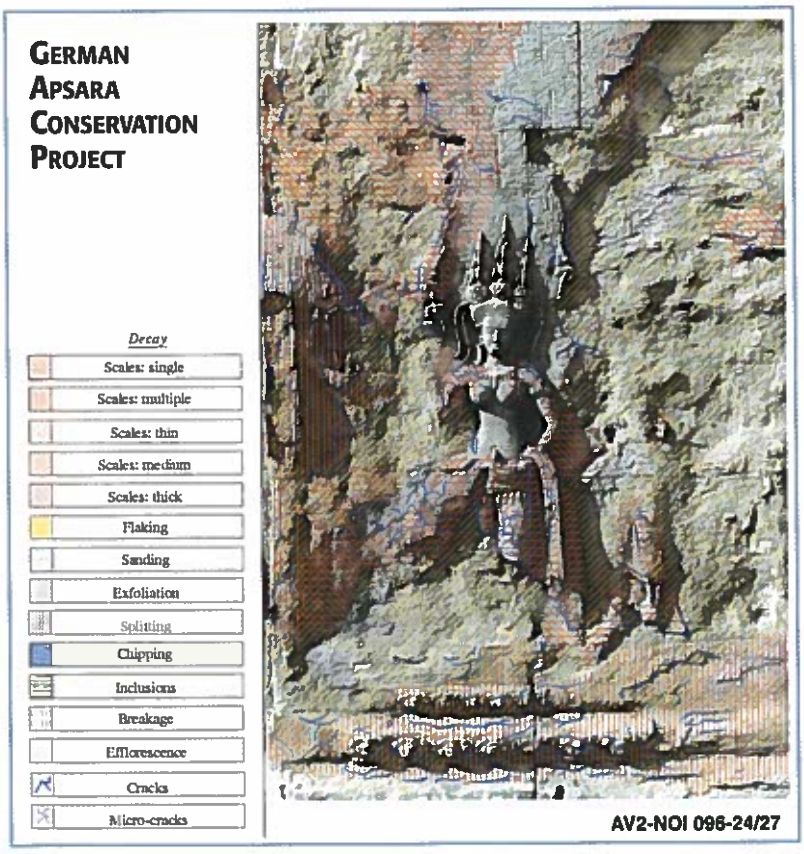


Fig. 3
The mapping of the state of preservation of one of the apsaras at Angkor Wat showing all types of decay.

already been noted but they are also printed out and stored in the archives of the University in Cologne, because the durability of the printed image is guaranteed while there is always the possibility that the CD format becomes damaged or obsolete thus rendering the information inaccessible.

The hardware necessary is now readily available in Cambodia and the software was generously donated by AutoDesk following the inclusion of the system in the Computer World Awards in 2000. This means that the system that has been developed can be used by the national staff in the future and therefore the sustainability of the operation has been guaranteed.

The Obelisk of Axum

In 1997 ICCROM was entrusted with the task of carrying out the diagnostic phase of the operation that should ultimately lead to the return of the Obelisk of Axum to Ethiopia. This operation was requested by the Ministry of Foreign Affairs of the government of Italy following the confirmation of the agreement between the two countries that had been stipulated in the peace treaty at the conclusion of the Second World War. This operation not only involved a diagnostic and feasibility study but also the conservation, and therefore documentation, of the carved stone surfaces of the Obelisk which has been in Rome since 1935.

The obelisk is a 24 metre high monolith, and the documentation operation was begun with the preparation of a photogrammetric survey of the four sides of the monument in a format which would be compatible with the AutoCAD software. The planning and customisation of the software was the same as for the case of Angkor though, of course, it was specially adapted to the needs of the obelisk. Since every site is individual, and has specific needs, the system must be modifiable to the requirements of each object under study.

In this case it was possible to use

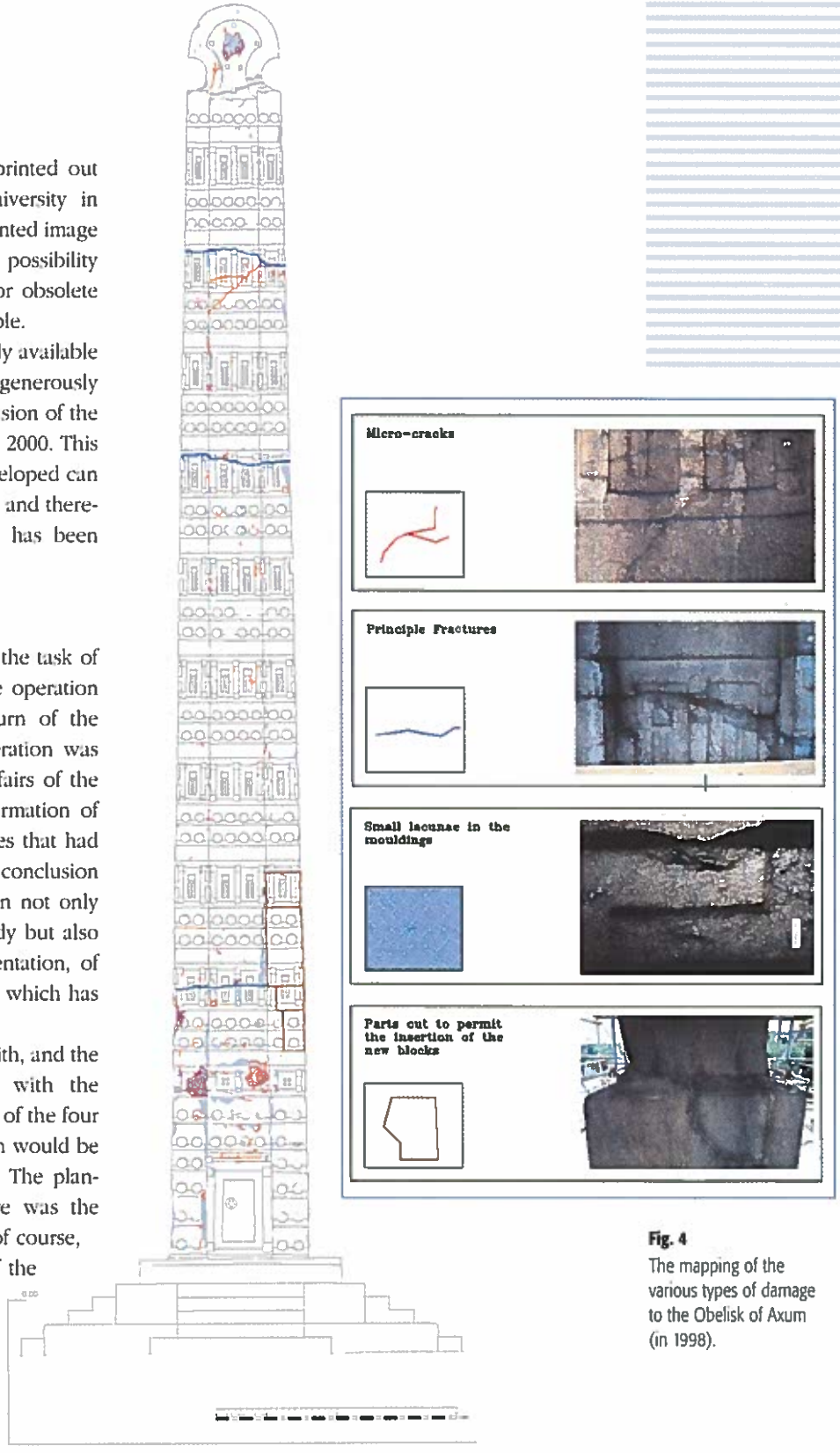


Fig. 4
The mapping of the various types of damage to the Obelisk of Axum (in 1998).

the line drawing, prepared using photogrammetry, as the background for the documentation (fig. 3). The use of the computer for the documentation was particularly useful, because of the dimensions of the object. It was necessary to record a great deal of minute detail, such as micro-cracks and fissures on a single drawing of an object 24 metres high.

The documentation and the possibility, offered by the software, of zooming in very close and therefore magnifying the area under study, meant that it was easy to record data on a single drawing in a way that would have been impossible on a single sheet of paper in a traditional documentation method. Moreover in this case the use of a vectorised photogrammetrically enhanced image meant that zooming in very close did not create the problems of "pixellisation" that can occur even on a high resolution photograph or bitmap. This means that if the drawing is viewed on a computer it is possible to examine and measure the details with a precision that would not otherwise be possible. The final drawings were printed out on large format paper but were also archived on CDs.

Conclusion

The customisation of the programme has involved a great deal of time and energy: the single macro cited above is complex and when it is considered that there are more than 400 of these macros running in the special menu it is possible to get some idea of the amount of thought and work that has gone into the development of this system. The essential ingredient in the success of this exercise has been the close collaboration between the computer specialists and the doubting Thomas's from the world of conservation.

The synthesis of the needs of both of these fields of research has meant that a realistic and applicable result has been obtained. The fact that the training of students and site staff with only limited computer experience has proved successful is certainly a vindication of this system.

Bibliography

D. Attura, E. Billi, G. Buzzanca, S. Cici, A. De Riso Paparo, A. Rubino, V. Zelli, *Teaching computer-aided documentation to conservation specialists*, in J.A. Barceló, I. Briz, A. Vila (eds.), *New Techniques for Old Times. CAA 98. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, Proceedings of the 26th Conference, Barcelona March 1998, Oxford 1999, BAR International Series 757, pp. 65-72.

M. Bishop, C. Gray, G. Palumbo, New *documentation technologies at the Getty Conservation Institute*, "CRM Cultural Resource Management", 1998, 5, pp. 40-41.

P. Box, *GIS and cultural resource management: a manual for heritage managers*, UNESCO Regional Office for Asia ant the Pacific, Bangkok (Thailand) 1999, p. 216.

G. Buzzanca, E. Giorgi, *Documentazione grafica assistita da elaboratori. Note operative*, "Archeologia e Calcolatori", 1995, 6, pp. 119-138.

G. Buzzanca, *Computer-Aided Documentation. Documentation for Conservation Condition Survey. Thematic maps for condition reports*, Manuscript, Getty Conservation Institute, Los Angeles (CA) 1997.

G. Buzzanca, F. Capanna, *Manualetto sulla personalizzazione di AutoCAD*, Technical paper, ICR, Rome 1998.

G. Buzzanca, *Standards and customised menus in condition digital recording*, in Proceedings of the ICR-AIPND 6th international conference on non-destructive testing and microanalysis for diagnostic and conservation of the cultural and environmental heritage: *Art 99*, Rome 17-20 May 1999, Rome 1999, vol. 3, pp. 2097-2108.

D. Cavezzali, *Graphic Documentation*, Manuscript prepared for the ICCROM MPC 93 training course, 1993.

- *NORMAL 1/88, Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico*, Rome 1988.

B. Fitzner, K. Heinrichs, R. Kownatzki, *Weathering Forms - classification and mapping*, in R. Snethlage (ed.), *Denkmalpflege und Naturwissenschaft, Natursteinkonservierung*, Berlin 1995, I, pp. 41-48.

G. Urbani, *La scienza e l'arte della conservazione dei beni culturali*, "Ricerche di storia dell'arte", 1984, 16, pp. 7-10.

R. Varoli-Piazza, *Proposals for the use of standard graphic symbols to record techniques of execution, states of conservation, treatments of restoration*, in Fourth International Restorer Seminar *Restorer's Museologist's Scientist's common responsibility in the protection of museum objects*, Veszprem (Hungary) 2-12 July 1983, Budapest 1984, vol. 1, pp. 135-144.

G. Buzzanca, G. Palumbo, L. Rainer, M. Hearns Bishop, *America Tropical: un murale di David Alfaro Siqueiros a Los Angeles. La registrazione digitale del condition report*, "Bollettino ICR - Nuova Serie", 2000, 1, pp. 14-27.

Harrison Eiteljorg II

DOSSIER

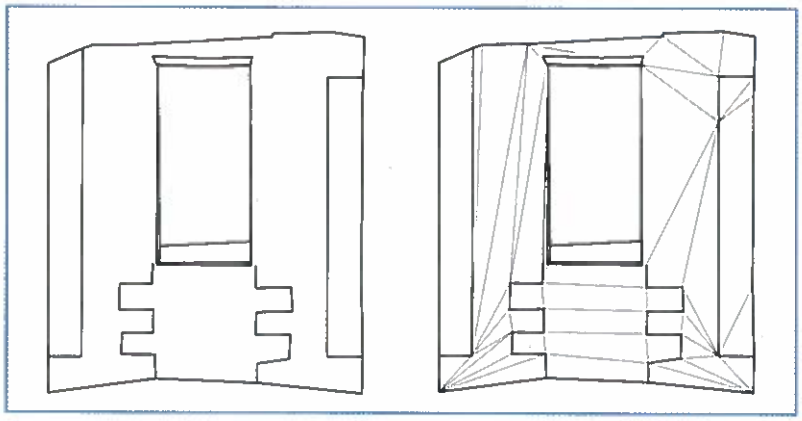
Documentation with CAD

When an archaeologist, art historian, conservator, or preservation specialist begins a project, the first job is usually the documentation of the site, the object, or the structure. The process is a two-step one. First, the information must be gathered. Second, it must be recorded in ways that permit access, not only by the scholar in charge but by others who will follow in his/her footsteps. For the purposes of this discussion, information about the physical characteristics of a building (or part thereof) is the goal. That set of information includes location, disposition and shape, size, layout and plan, materials and color characteristics, condition, and stability of the structure.

The basic method of collecting the information is standard surveying - including the use of modern implements or processes such as electronic surveying instrument, 3D scanners, and photogrammetry with either digital or film-based images. In addition, sketches, photographs (black-and-white, color, or false-color such as infrared - digital or film-based), extensive notes, and perhaps chemical or structural analyses will be used as necessary.

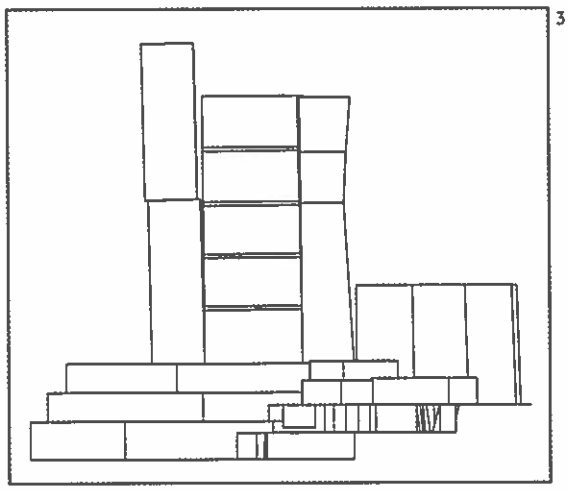
With the information in hand, there are various ways to organize it for storage and to present it for access and retrieval. We are most familiar with the use of drawings - plans, elevations, sections, and details - to present the evidence about plan, disposition, layout, and size. Sketches may also provide more impressionistic views of certain aspects of the structure. Photographs are commonly used to show both details and general views, and text is most likely used to convey information about materials, construction details, condition, stability, and the like. Computer-aided design (CAD) programs provide new ways to present much of the same information, especially that which would normally be presented with paper drawings.

The matter at issue here is the use of drawings as compared to the use of CAD software to record the basic geometry of structure(s) and then make that information available for retrieval. Before discussing CAD's virtues and vices, however, it is important to remind ourselves of the scholar's real aim. The aim is to determine and present to others information about the disposition, shape, layout, design, internal characteristics, and size of a structure. It accomplishes little if one has measured and surveyed a structure but cannot make the information available to others.



1

Fig. 1
Elevation views of a wall in the Eumachia Building, Pompeii. Right, all surveyed points and individual surfaces indicated; left, final version of wall, with multiple surfaces united and lines where surfaces join suppressed.


3

Drawings, whether made by people or by machines, present two types of information, one visual or graphic and one factual or geometric. That distinction between the two kinds of information is rarely made and may seem artificial, but it is a real and important distinction. The visual or graphic information provided by drawings gives the general sense of orientation, layout, scale, and design. Such information is not precise in the sense of providing exact measurements of distances or angles, but the real value lies in the general impressions provided. Approximate size and orientation are clear, as well as layout and organization.

The factual information provided by drawings is the detailed geometric information. Since such drawings are normally scaled, distances can be measured and their real-world values calculated, angles can be measured, orientations can be determined, and other details can be retrieved. Drawings are implicitly meant to supply both of these kinds of information, though we rarely use them for precise geometric information. Generally, users take rough measurements from drawings and will rely on precise dimensions only if they have been noted explicitly, either on a drawing or in related text. They know that scaled dimensions can only provide rough approximations of real-world measurements.

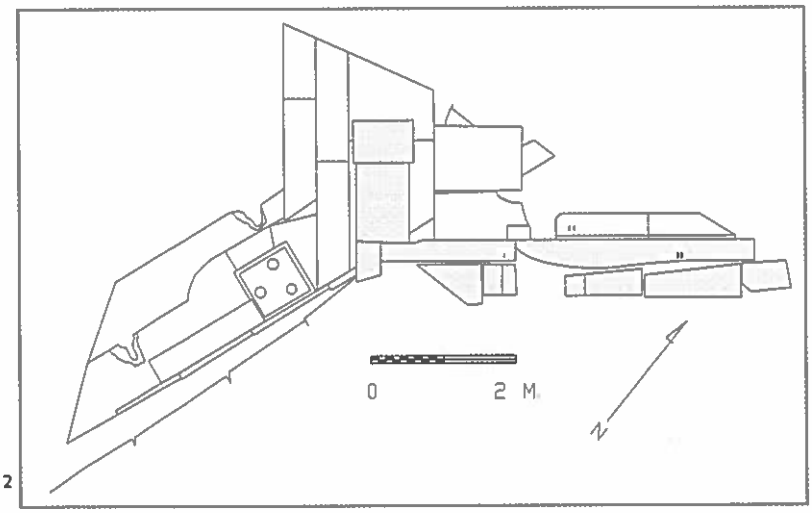
Drawings do not provide a fully three-dimensional impression of a structure. Plans, elevations, and sections must be mentally combined to provide an impression of the full, 3D reality. Perspective or isometric views can provide some sense of complex 3D reality, but only from particular points of view. Because such drawings are difficult and time-consuming to produce, they are not normally provided in large numbers, if at all. Nevertheless, 3D views can be critical for many, since the ability to visualize in 3D seems to be an aptitude only marginally improved by training. Photographs are often helpful with 3D visualization as well.

Drawings can also illustrate important issues of development and change by showing a structure in the course of its development - either construction phases or periods in the history of the building. For example, portions of a structure may have been added over time, as a building became larger and more complex, and a set of drawings showing the portions built in each phase, possibly along with reconstruction drawings of each phase, will be far more clear than any text describing the same sequence. Such drawings of phases or reconstructions, of course, fulfill the dual purposes of all scaled drawings - providing both graphic and geometric information.

I have tried to define carefully the role of drawings, because that role is crucial for evaluating CAD as a technological replacement for

Fig. 2
Plan view of the remaining material from the old entrance to the Athenian Acropolis (older propylon).

Fig. 3
Elevation view of the remaining material from the older propylon.



2

4

Fig. 4
Photograph (fish-eye lens) of the older propylon.

drawings. If the only aim of a CAD system is to produce drawings roughly equivalent to those produced by hand, an argument can be made that CAD makes it possible to produce comparable drawings with very low investments of time and labor. That argument will nearly always fail, however, if the user simply wants paper drawings and sees the process of data recording and retrieval only in terms of paper drawings. It is not that the argument is weak; there are significant advantages to using a CAD system to produce drawings. Rather, seeing the physical drawing as the ultimate product tends to blind people to the real but implicit uses of the drawings - whether produced by CAD or by hand. The uses, as I have tried to make explicit, include more than the graphic content; retrieving factual information (dimensions, angles, and the like) and providing a fully 3D understanding of the structures are critical aims as well[1].

Now let us turn to CAD systems to see why the need for factual information and 3D understanding make CAD so valuable.

1. CAD models are three-dimensional. A wall in a CAD model is not just a line on a plan but a standing surface. A 3D Cartesian coordinate system underlies the model, and all points have explicit 3D coordinates - the tops of the wall blocks as well as the bottoms. The grid system may be local, regional, or global, but every point in the model has a set of coordinates with an x-, y-, and z-value. As a result, any fully modeled structure(s) may be viewed from any angle at any time. Three-dimensional views are neither difficult to generate nor limited to isometric or perspective views. Virtually any view can be generated in, at most, a few seconds. The model, then, is more than a drawing; it is truly a model that can be viewed from a variety of perspectives. Fig. 1 shows two views of a partially destroyed wall from the Eumachia Building in Pompeii. All the data points that make up the wall can be seen on the right; the simpler version of the wall, with only the niche, coigning, and cut-away portions of the brick showing, is on the left. All points in both views have explicit 3D coordinates.

This capacity to present the model as a 3D structure is of greatest importance to those who are less able to visualize in 3D, but even those who can visualize 3D reality from 2D plans and elevations find it helpful to try multiple vantage points and to combine 3D viewing with some of the features to be discussed below.

In short, CAD models provide the base from which a multitude of useful drawings can be produced.

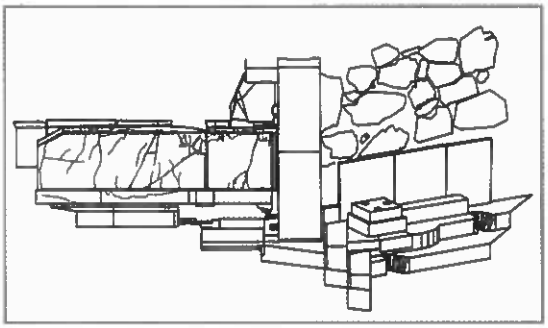
2. CAD models are also complex in the sense that they can be divided into different segments so that some segments are on view while others are hidden. The value in this segmentation of the model is enormous. Parts of a structure may be segregated from one another because of differences in date, building material, building phase, position, scholar responsible for the restoration, even whether the particular item is *in situ* or not. Thus, one might ask a CAD program to display only the *in situ* parts of a structure, the *in situ* parts of the structure that come from the first phase, the *in situ* parts of the first phase of the structure that are marble, or... With only a few keystrokes a CAD user could see, in succession,

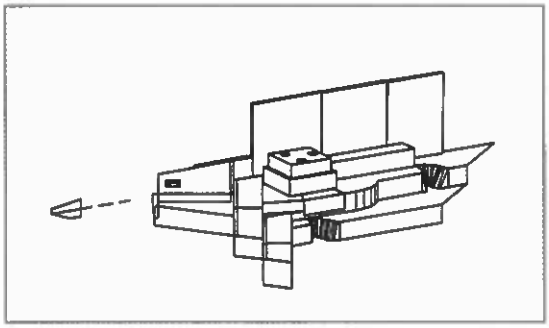
each phase of a structure or part thereof.
The segmentation possibilities are limited only by the desires of the model builder and the complexity of the structure. In one case, for instance, I have treated cracks and drilled holes in marble blocks as separate data segments so that the blocks in question can be shown with or without the holes that once contained nails used to hang trophies and with or without the cracks that developed long after the building fell out of use. Data segments can even contain the same object in different positions - in two successive building phases, for instance. Indeed, a single CAD model may actually include several models of a building - versions of the building at different times and as reconstructed by different scholars.
Using the 3D visualization features of CAD along with the segmentation of the model makes possible a limitless number of views of any given model.
3. A CAD program only scales a model for a specific physical drawing (whether on screen or on paper). Internally, it never loses the coordinate information that was first provided. As a result, any dimension in a CAD model can be retrieved at the level of precision with which it was entered. Compare that to a paper drawing, which is necessarily a scaled approximation of its subject. If the scale is, for example, 1:100, an item measured in real life as being 1.234 m long should be drawn as 0.01234 m long. Assuming that the user of that drawing can measure to the mm (and the draftsperson can draw to the mm), that means that the distance between points can be read as 0.012 m^2. Using the scale factor, the dimension retrieved from the drawing is therefore 1.2 m^3. But the actual dimension is 1.234 m; using a CAD model and querying the system for the distance between the two points, a user would retrieve 1.234 m, the originally measured distance.

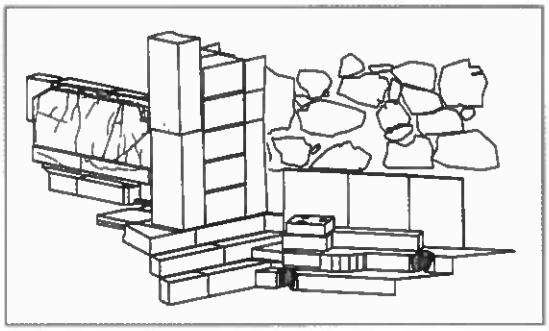
This facility for retrieving accurate, precise dimensions is all the more valuable when one considers the messy real world. Since two points may not lie on the same plane but may appear to do so in a plan or elevation drawing, the distance may be considerably greater than it appears to be in the drawing. Such a problem has no impact on a CAD system, since the distance between any two points depends solely on the 3D coordinates of those points.

Using a CAD model to retrieve geometric information makes it possible to separate the two uses of paper drawings - the graphic and the geometric - from one another. When starting with a CAD model, drawings (either on paper or on screen) are produced primarily for graphic impact; that is, they present the general size, layout, and disposition of the subject. Any number of drawings can be made from the CAD model, and they can be produced with different graphic qualities for different uses. At the same time, the CAD model provides geometric information through various query routines - at better precision and accuracy - thus eliminating the need to rely upon scaled measurements.

Some examples of these advantages of CAD must now be provided.
1. The 3D model. Figs. 2 and 3 show the major part of the surviving pieces of the entrance to the Athenian Acropolis that was demolished to make way for the Propylaea (the famous classical structure that still serves as the entrance to the Acropolis). Only *in situ* material is included. Fig. 2 is a plan view and fig. 3 an elevation of the major standing wall. Fig. 4 is a photograph of the western, lower portion of the area. Those 2D views and the photograph should be compared to the effect of those plus the 3D views in figs. 5 and 6. (Note that the photograph, fig. 4, shows how cramped the area is and therefore how difficult it is to produce a photograph that shows enough of the material at one time without distortion. The remains lie in an area bounded by







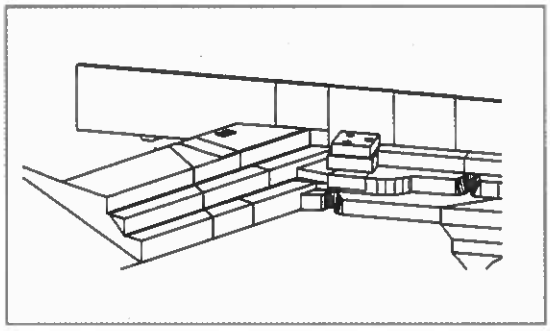


Fig. 5
Three-dimensional view of the remaining material from the older propylon (from the north).

Fig. 6
The same (from the west).

Fig. 7
Three-dimensional view of the remains from the first phase of the older propylon (from the north).

Fig. 8
The same (from the west).

walls of the Propylaea; no view like that produced in fig. 5 could be made with a camera.) Taken together, all these images provide an excellent sense of the structure as it stands, but figs. 2 and 3 only - even in conjunction with the photograph - cannot do justice to the complexity of the material. For example, the large wall block in the upper courtyard (visible in figs. 5 and 6 and heavily cracked) leans out, away from its proper vertical orientation. That, of course, does not show in the plan view but it can be determined easily with the CAD system, though not necessarily from the drawings.

2. Segmented models. Figs. 7 and 8 show the same area but with only the *in situ* material from the first phase of the work (fig. 7) and that *in situ* material plus some reconstructed additions (fig. 8). All the material shown in these figures - as well as the materials from the other drawings - co-exists in a single model, despite the fact that multiple blocks once occupied the same spaces. These drawings do not have the artistic quality of the hand drawings so often produced by scholars in the past. To some extent that is because of their purpose and size here, but CAD programs are rarely able to produce the kinds of drawings that a good draftsperson can produce. On the other hand, the CAD drawings could be reproduced instantly at different sizes, with different line weights or with colors used to highlight some feature or features. Producing all of those shown here required less than a half day of work. They could also be augmented by hand to add some graphic qualities, and a variety of other programs could be used to alter these drawings, adding artistic effects or text as desired.

3. Dimensions. Fig. 2 has been reproduced with an included scale. It should therefore be possible to use the figure to determine any measurement in the drawing. The size of the anta (the enlarged wall-end of the short wall atop the steps) should be easy to retrieve. Any reader can make the measurements and the calculations to determine the size of the block. Querying the CAD model yields these dimensions: 0.586 and 0.835 m. The distance between any two points in the model can be retrieved with equal precision.

There are other advantages to CAD. Photographs of individual surfaces can be brought into the CAD model so that they appear in the proper place and with the proper orientation. In addition, photographs of planar surfaces (not only rectified photographs but even oblique ones) can be used as data sources, with information traced directly from the images.

Textual information can also be connected to

the model in a variety of ways. Although CAD programs can automate the connection, it is simpler - and better for the long-term preservation of the information - to build a simple database with information keyed to icons in the model. Thus, for instance, the fact that the anta bocks were reused can be related to the blocks in the model and retrieved from a simple database program.

There are other important, albeit simple and practical, advantages to CAD. A single model can contain all that is known about a very large and complex subject, but uncluttered drawings with just the necessary portions of the whole can be made easily by selecting appropriate data segments and scales. Errors can be far more easily corrected. Physical drawings can be produced mechanically - and corrected, re-drawn, altered, adjusted until just the right effect has been created - all without the expenditure of significant time. The complete model - with all the notes, dimensions, data segmentation, and so on - can be shared very easily. One need only mail a disk or use the Internet to transfer a file.

In the foregoing I have not attempted to show how CAD is used but only to lay out its advantages as a way to record information about structures[4]. There is a significant problem, however, with the use of CAD. Once a structure has been properly surveyed and the CAD model has been created, properly segmented, and itself documented (so that users will know, for instance, how to use the data segmentation system), users must also have access to a CAD program to obtain the information stored in the model. Yet today CAD is still not used widely in the scholarly world; access to a CAD program cannot be taken for granted - nor can adequate skill in using such a program be assumed.

A scholar who decides to use a CAD program to document a structure will have a better set of documentation, but it may or may not be possible for others to retrieve the information gathered into a model. In the final analysis, the way information is recorded is not so important as the way it can be retrieved. That, of course, is the great potential advantage of CAD. The information can be retrieved - three-dimensionally, with complete precision, and with the appropriate portions visible - at any time. The fact that CAD also is much more efficient and convenient (once one has become accustomed to the software) would be of little consequence were the software not a better way to store important information - and then to retrieve it. Despite all these advantages, it remains to be seen whether enough scholars will learn to use CAD to make its advantages real.

Note

[1] A personal experience is of interest here. A colleague who viewed CAD as only a replacement for drawings spent a great deal of time and effort trying to produce CAD drawings that would copy certain important characteristics of paper drawings. He did so because he wanted to be able to take measurements from the CAD-produced paper drawings. However, using a CAD system makes it unnecessary - and inappropriate - to take measurements from a drawing. The CAD model will supply the measurements more accurately and without requiring calculations based on the scale.

[2] It is certainly possible to measure more finely on paper than to the nearest mm. However, the thickness of lines and the compounding of drafting and reading error make measuring more precisely than to the mm unlikely in the extreme. An experiment conducted by the author indicates that this level of precision is probably a fair estimate of what is possible to retrieve from a drawing - assuming the scale factor is properly applied, which should not be taken for granted. See: <http://www.csanet.org/newsletter/spring01/nls0105.html>.

[3] Note that the retrieved dimension is not 1.20 or 1.200 m, implying precision to the nearest cm or the nearest mm.

[4] For a much longer discussion of CAD, with added illustrations, see <http://csanet.org/inftech/cadgd/cadgd.html> and H. Eiteljorg II, K. Fernie, J. Huggett, *CAD: a Guide to Good Practice*, Archaeology Data Service, Oxbow (UK) 2003.

F. Paolo Di Giacomo

DOSSIER

L'uso della tecnologia GIS richiede la standardizzazione della documentazione grafica

La padronanza della tecnologia GIS, come ulteriore tassello di base nella preparazione di base del restauratore; la documentazione grafica come uno dei possibili output del database del progetto di restauro. Il contributo presenta la storia del divenire del progetto di restauro negli ultimi dieci anni e mette in evidenza come l'evoluzione della tecnologia e la sua disponibilità a costi sempre più contenuti, dell'hardware e del software, permetta oggi anche al restauratore di avvalersi di strumenti innovativi. Da qui deriva la necessità di estendere la formazione di base a includere la padronanza delle nuove tecnologie, divenute ormai uno strumento di lavoro abituale.

La redazione di una documentazione grafica informatizzata che accompagna un intervento di restauro è sempre più una prassi corrente. In questo contesto, tuttavia, è ancora necessaria una opera di normalizzazione che leghi l'esigenza di redigere un vero e proprio progetto grafico preliminare dello specifico progetto e quella di uniformare i lessici e standardizzare le procedure per un riuso degli elaborati durante le fasi successive del lavoro relativo all'intervento stesso prima, e alla documentazione del restauro dopo.

Questa esigenza trova nell'evoluzione degli strumenti informatici e nel crollo dei prezzi dell'hardware una combinazione storica favorevole per affrontare il problema della standardizzazione di procedure e lessici al fine di favorire la crescita del settore da un lato ed essere pronti, dall'altro, ad affrontare le sfide della *Net Economy* che sempre più postula la necessità di una capillare diffusione delle informazioni in rete.

La realizzazione di un archivio virtuale in rete composto dalle documentazioni dei restauri non può prescindere (logicamente e tecnologicamente) dalla standardizzazione dei lessici contenuti nei progetti.

Progettare un intervento di restauro dovrebbe discendere dall'effettivo possesso delle informazioni sulla natura dell'opera, sulle sue condizioni chimico-fisiche e sullo stato di conservazione. Evidente è anche la necessità di un monitoraggio durante i lavori di restauro, come pure è utile tramandare cosa sia stato effettivamente realizzato e quindi una documentazione dei lavori di restauro effettuati, una sorta di *as built drawings* previsto, ad esempio, dalle norme inglesi vigenti per gli edifici civili.

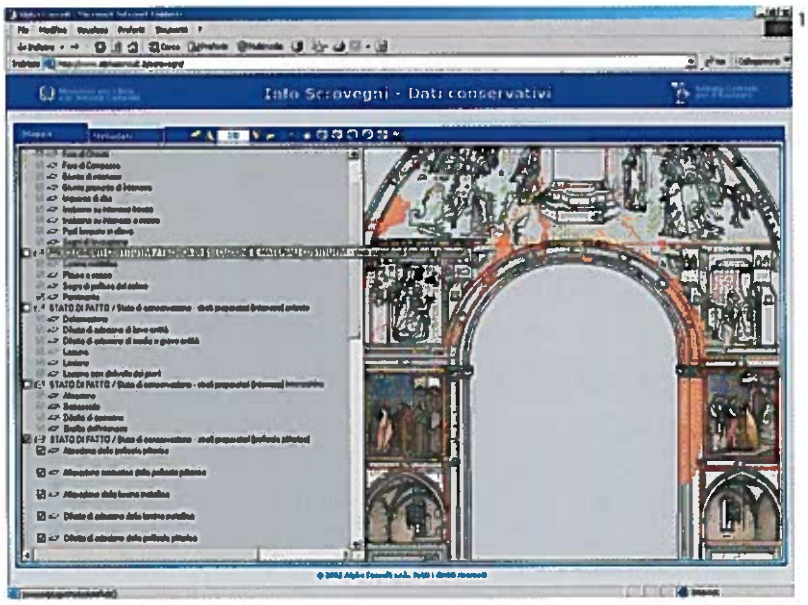


Fig. 1
Il riquadro della documentazione grafica al quale è collegato sia il metadato che la fototeca: il pannello superiore ospita le funzioni di visualizzazione della stessa documentazione.

- 'oggetti', gli elementi disegnati: punti, linee, superfici, tratteggi, testi, ecc.

A questa struttura logica si affianca la banca dati descrittiva che organizza rapporti, foto, file di tabelle, ed ogni altro documento che sia espresso in forma digitale.

Ambienti software

Gli ambienti software sviluppati all'interno di questa esperienza sono catalogabili in due diverse classi: a) lato autore; b) lato *client* (tab. 1).

Gli ambienti software sviluppati nella parte autore sono due: GDL/ICR documentazione fotografica e GDL/ICR documentazione restauro.

GDL/ICR documentazione fotografica utilizza delle utility di AutoCADMap per la gestione e l'inserimento di immagini in automatico semplicemente selezionando i testi che rappresento le foto che si vogliono visualizzare. Guida il fotografo a posizionare, a collocare ed archiviare le foto del manufatto permettendogli di evitare l'inserimento delle immagini in modo errato. Permette di disegnare il bordo delle foto creando così un grigliato di inserimento con dentro i nomi delle foto stesse, che con un semplice 'click' del mouse le inserisce a posizione giusta.

Le fotografie una volta inserite, possono essere modificate dal punto di vista di visualizzazione, secondo le seguenti funzioni:
- regolare la luminosità;
- regolare il contrasto;
- rendere più o meno ottimale la qualità (in rapporto alle esigenze di visualizzazione);
- attribuire proprietà di trasparenza;
- ritagliare secondo le necessità documentative del momento.

Un volta disegnate le aree, con linee chiuse, il programma GDL/ICR, usando la topologia di AutoCADMap, rende topologico il poligono, predisponendolo ad accogliere ulteriori informazioni di base, come il calcolo della sua area, la lunghezza della linee, la reciproca posizione spaziale degli oggetti disegnati. Tutte queste informazioni vengono scritte nel database del singolo progetto, secondo la struttura predisposta nel Meta-Database generale della documentazione dei progetti di restauro. In tal modo la struttura predisposta nel Meta-Database generale della documentazione dei progetti di restauro guida e di fatto norma la redazione del database del singolo progetto. Avendo così una matrice unica di partenza, i singoli progetti potranno essere letti con lo stesso occhio da progettisti diversi. Quindi da un mero disegnatore di linee su diversi *layers* del disegno in CAD, con colori e tratteggi spesso diversi da progetto a progetto, si passa, facendo le stesse operazioni di dise-

Tabella 1
Elenco dei software

Lato Autore	Lato Client
A) GDL/ICR DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA che permette anche di gestire le fotografie necessarie per preparare la documentazione dei progetti di restauro.	A) GDL METADATA SERVER che descrive la meta-informazione come nell'esempio del Server dei Beni Culturali dell'Amministrazione Provinciale di Viterbo.
B) GDL/ICR DOCUMENTAZIONE RESTAURO che permette di preparare la documentazione dei progetti di restauro.	B) GDL MAP SERVER che fa visualizzare le cartografie in rete come nell'esempio della Cappella degli Scrovegni a Padova.
	C) GDL FOTOTECA che funge da server in rete per la consultazione delle foto.

complessità di imparare e gestire ambienti e programmi diversi ognuno dei quali necessita di una lungo periodo di formazione e di approfondimento, si è resa necessaria la creazione di un ambiente unico nel quale le funzioni specifiche dei diversi programmi, fuse insieme, fossero a disposizione senza l'inutile e pesante presenza di tutte le funzioni non usate durante la fase della registrazione e archiviazione del dato.

Strumenti di ausilio

Per redigere l'elaborato grafico di progetto che prevede la documentazione degli interventi precedenti, dello stato di conservazione e della fase di diagnostica, vista come puro atto documentale 'a posteriori', si è reso necessario specializzare un menu che fornisse le funzioni necessarie in un ordine sequenziale strutturato.

L'approccio precedentemente privilegiato era stato quello di cercare di definire in via teorica i termini del problema e su questi impostare la costituzione di un concreto corpo di indicazioni pratiche.

Questo perché ci si è accorti che la maggior parte dei contributi in materia erano riferiti solo a singoli interventi di restauro mentre il resto riguardava esperienze indubbiamente più significative dal punto di vista metodologico, ma che tuttavia non potevano poi essere sempre esportate nell'ambito della pratica reale della conservazione. Inoltre la tradizionale, prevalente trattazione delle tematiche connesse ai soggetti di tipo architettonico aveva creato un polo di riferimento al quale sembrava impossibile sottrarsi con la conseguenza che ricerche e indirizzi mirati ad obiettivi più generali risultavano condizionati da ciò che è era stato fatto e che poteva sembrare scontato per l'architettura.

Accadeva così che, nella pratica, ben pochi esempi andavano oltre lo stadio dell'improvvisazione, e questo anche perché spesso si chiedeva e si offriva oltre alle cose strettamente necessarie ed indispensabili, anche quelle del tutto superflue. Ciò era un chiaro indizio di quanto fossero incerti i concetti di base a cui richiamarsi per la definizione della natura e delle finalità della documentazione grafica, concetti che, ormai definiti[5] e in parte anche acquisiti dai più accorti operatori del settore, sono oggetto di questa comunicazione.

Fig. 4
Visualizzazione attraverso browser della documentazione grafica.
Il lessico relativo al layer selezionato.

In termini pratici, per tornare al lavoro svolto, per rendere oggettiva la documentazione è stato compiuto un lavoro di standardizzazione e le topologie che sono risultate sono state strutturate in un corpo di lessici predefiniti. Analogamente per gli elementi lineari e puntiformi sono stati predisposti i relativi lessici.

Categorie, Classi e Oggetti

La documentazione grafica non è un 'qualcosa in più' che si possa o debba aggiungere ad una relazione scritta accompagnata o meno da fotografie, né un altro modo di documentare rispetto a quest'ultimo pur indispensabile strumento, ma è il primo passo per capire come impostare un progetto di restauro. La documentazione grafica diviene il primo momento della creazione della banca dati: la stampa della documentazione grafica è dunque un output del database. Con questi presupposti si è stabilita la struttura della documentazione e si sono decise le seguenti convenzioni:

- 'categorie', un insieme complesso di dati non omogenei, strutturabile secondo sottoinsiemi;
- 'classi', insiemi strutturati delle categorie;

gno, ma operazioni guidate dalla *shell* in VBA e dalla struttura predisposta nel Meta-Database della documentazione generale dei progetti di restauro, alla costruzione di una banca dati dei progetti di restauro ove le tabelle degli oggetti disegnati nelle tavole specifiche di questo o quel progetto sono standardizzate.

Una volta strutturata la banca dati (secondo la struttura predisposta nel Meta-Database generale - usato come Metathesauro - della documentazione dei progetti di restauro), disegnati punti, linee e poligoni collegati a record di tabelle di database secondo le linee guida generali, costruito il database del singolo progetto, si ottiene un database grafico con temi spaziali sui quali è possibile iniziare ad impostare le operazioni con gli operatori spaziali, tipiche della tecnologia e della cultura del mondo del GIS. Si possono cioè iniziare a compiere operazioni di overlay topologico generando nuovi temi - i valori delle quali areole sono interamente definite nel database del progetto - con l'indicazione della loro origine. L'indicazione dell'origine dei poligoni che hanno prodotto l'overlay risultante è di primaria importanza: serve cioè avere memoria della relazione *parent/child* che permetta di ritrovare quali temi di base abbiano concorso a definire quella nuova intersezione: a esempio umidità/sali/sollevamento della pellicola pittorica. Un altro importante operatore spaziale che può essere applicato sulle topologie così disegnate è la creazione di un area di *buffer*. Solamente quando si cominciano ad usare le funzioni d'analisi spaziale sulle topologie ci si trova nella parte GIS del progetto di restauro, ove la standardizzazione delle query è ancora oggi la frontiera della ricerca; infatti fino ad ora è la cultura e l'esperienza del restauratore che sintetizzano il contenuto delle tavole di documentazione e propongono delle soluzioni di restauro. Ma di fronte a grandi opere, o se esiste la necessità di impostare campagne di monitoraggio dell'opera restaurata, l'analisi relazionale e spaziale dei dati digitali diviene un imperativo. Un altro campo considerato giustapposto e non integralmente fuso nella documentazione grafica è l'analisi spaziale dei risultati delle indagini scientifiche (i relativi modelli di analisi spesso sono ancora da definire con precisione), la loro pertinenza spaziale sulle parti dell'opera ed il rapporto/impatto nel tempo.

GDL/ICR documentazione restauro utilizza le utility di AutoCADMap per la vestizione e la gestione degli elementi topologici areali, lineari e puntiformi. Guida il restauratore a scegliere il manufatto in oggetto e successivamente le categorie della fase di restauro, settando l'ambiente di lavoro[6]: GDL/ICR utilizza la topologia di AutoCADMap in modo facilitato per permettere al restauratore non esperto di CAD di disegnare i tratteggi tipici del mondo della documentazione di restauro.

La metodologia usata standardizza i tematismi ed i relativi codici dei poligoni presenti in banca

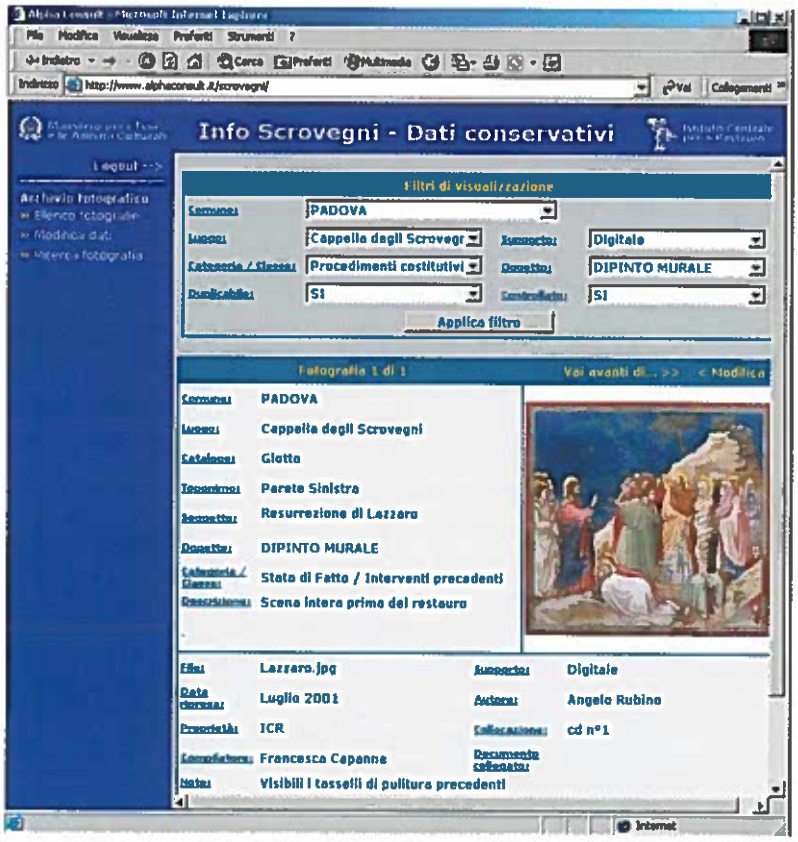


Fig. 5
La fototeca è visualizzabile sia attraverso link a specifici elementi della base grafica che direttamente in forma di banca dati d'immagini.

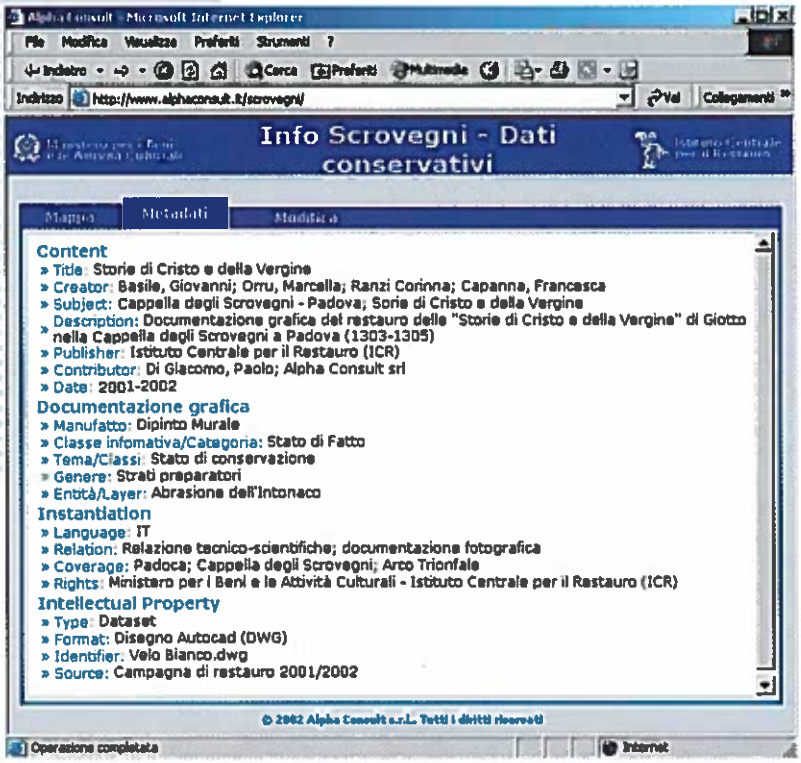


Fig. 6
Dalla schermata relativa al metadato è possibile accedere, in 'rete interna', al singolo layer per ulteriori approfondimenti.

dati (nella tabella del database GDL/ICR che funge da Meta-Database, una sorta di Metathesauro dei possibili 'retini'):
- guida alla scelta del tematismo progettuale;
- permette di scegliere dalla tabella dei tematismi il tema da disegnare;
- guida a disegnare sul piano giusto con colore preassegnato il bordo del poligono del tema scelto;
- guida a selezionare i valori dei centroidi[7] codificati in banca dati;
- crea la topologia ed esporta i dati in tabelle di database;
- porta sui piani (con il nome del centroide ed il prefisso del tema), i poligoni chiusi delle topologie per fare i tratteggi sulle aree;
- crea in automatico la carta colorata monotematica della documentazione di restauro;
- permette di sovrapporre in automatico più topologie mantenendo traccia in database dei poligoni che hanno generato l'overlay finale.

Il programma GDL/ICR, *shell* in Visual Basic della Microsoft, costituisce il 'ponte' tra il database del progetto in Access e gli oggetti disegnati nel disegno, ed opera seguendo la struttura predisposta nel Meta-Database generale della documentazione dei progetti di restauro. La filosofa progettuale di GDL/ICR è quella di guidare e facilitare nel tempo stesso, il compito del restauratore-disegnature che redige le tavole della documentazione grafica, predisponendo tools che usati susseguentemente, guidino l'utente alla redazione delle tavole e del relativo database di progetto.

Alcune iniziazioni pratiche sull'uso del software servono a chiarirne meglio le funzioni. Basterà iniziare dalla scelta del manufatto ed a seguire del materiale per arrivare con la documentazione afferente allo stato di fatto per trovarsi a disposizione l'ambiente per disegnare lacune, sollevamenti della pellicola pittorica.

Diffusione nel web

Un contributo verso la diffusione del dato che possa in futuro permettere la confrontabilità di esperienze diverse è quello della diffusione nel web con tecnologia WebGIS del dato delle campagne di restauro. Un esempio è offerto dalla impostazione WebGIS della visualizzazione in Internet delle tavole della documentazione grafica afferente ai dipinti murali della Cappella degli Scrovegni a Padova[8], su tecnologia MapGuide dell'AutoDesk e sull'applicativo InfoMap dell'Alpha Consult srl di Roma.

Nel sito della stessa società[9] è possibile visionare anche un profilo di applicazione specificamente preparato per la documentazione grafica[10],che intende offrire un contributo alla costruzione del Metathesauro per la Biblioteca Digitale dei disegni della documentazione grafica, in un'ottica che indica come soluzione migliore quella che l'autore sia colui che archivia il proprio lavoro, creando un *global knowledge network*[11].

Conclusioni

La documentazione grafica intesa fino a ieri come redazione di elaborati grafici, può essere riletta oggi come una prima fase di input della banca dati: la stampa delle tavole di documentazione come una stampa del database spaziale costruito nella fase

antecedente il restauro. La fase di interrogazione spaziale e di intersezione tematica (Overlay topologici) come momento di approfondimento tra le relazioni spaziali degli oggetti rilevati al momento dell'osservazione dello stato di fatto e quindi come un inizio di impostazione di una modellistica sui dati relazionali con contenuto spaziale archiviati in banca dati. La diffusione del dato in Internet, è di questo processo, la naturale esposizione di un momento di approfondimenti scientifico e culturale da porre in mano alla più ampia platea di esperti del settore, per costruire una biblioteca virtuale globale delle conoscenze umane nel campo: archivio di base per le operazioni di monitoraggio.

Le esperienze descritte sono state compiute nell'ambito delle attività dell'Ufficio tecnico - Sezione di documentazione diretta dall'architetto Francesco Sacco. Il contributo, senza dimenticare l'apporto dell'intero gruppo, intende mettere in evidenza gli aspetti propriamente tecnologici che maturano da pregresse esperienze compiute già da molti anni in un intenso rapporto di consulenza con l'ICR per attività di schedatura digitalizzata.

Note

[1] A questo proposito si vuole menzionare la catalogazione conservativa che aveva come direttore dei lavori Patrizia Miracola e direttori operativi e responsabili per la didattica del cantiere Bianca Fossà ed Esmeralda Senatore e che si è svolta per due anni (nei mesi di ottobre 2000 e ottobre 2001). La scheda messa a punto è stata creata per manufatti (contenitori, utensili, ornamenti, armi ed armature, oggetti di culto, ecc.) ed opere (sculture, altorilievi, bassorilievi, pannelli) in metallo, ceramica, vetro, materiali organici e polimaterici. Le opere interessate erano state realizzate su commissione per decorare gli ambienti (sale, scale, corridoi, atri, cappelle) di 5 transatlantici della Società Italia negli anni '50 da autori quali Purificato, Turcato, Gentilini, Sciltian, Guttuso, Vedova, Mascherini, Capogrossi, Fiume. Il numero degli oggetti rilevati è stato di circa 500 mentre gli allievi dell'ICR coinvolti sono stati sedici dei tre anni di corso delle aree A e B (dipinti e manufatti in metallo, ceramica e vetro) e 5 docenti (delle due aree). Due relazioni relative ai cantieri svolti descrivono l'intero processo e sono conservate presso gli archivi dell'ICR.

[2] Vettoriali sono tutti i dati relativi alla base cartografica e quelli che riportano sul disegno i dati rilevati in campo. *Raster* sono tutte quelle ulteriori informazioni dalle foto alle termografie ai risultati di sensori particolari che sono alla base dell'indagine di campo.

[3] I metadati sono informazioni che descrivono altri dati, ovvero descrizioni che esprimono il contenuto e le caratteristiche dei documenti. Il contributo di Cerica definisce con precisione tale concetto che è alla base del nostro intero lavoro di sperimentazione.

[4] AutoCadMap è stato usato per la preparazione della topologia, coadiuvato dal programma GDL2000-Graphic Data Link 2000, che facilita il collegamento tra oggetti disegnati topologia e database, fondendo in un *unicum* diversi ambienti tradizionalmente slegati fra di loro; al prodotto CadOverlay è stato affidato il compito di trattare l'*editing raster*.

[5] Vedi F. Sacco, *Sistematica della documentazione e progetto di restauro*, "Bollettino ICR - Nuova serie", 2002, 4, pp. 28-53.

[6] Ad esempio: selezionando dall'elenco dei manufatti possibili (mosaici, dipinti murali, dipinti su tela, dipinti su tavola...), vengono abilitate solo determinate categorie/classi in base alla scelta eseguita.

[7] Il centroide, in questo caso, indica il punto interno al poligono al quale sono collegate le informazioni relative al poligono stesso.

[8] Vedi <http://www.giottoagliscrovegni.it/> nel contesto dell'opera e del restauro o in <http://www.alphaconsult.it/scrovegni> in un contesto d analisi tecnologica.

[9] <http://www.alphaconsult.it/scrovegni/metadato>.

[10] Segue l'impostazione del Seminario Nazionale sul Metadato, Gruppo di Studio Nazionale sui Metadati, istituito dall'ICCU, e le *guidelines* del Dublin Core. Maggiori dettagli sono indicati nel contributo di Cerica.

[11] Sono queste le indicazioni scaturite dalla seconda conferenza internazionale *ICSU-UNESCO International Conference on Electronic Publishing in Science*, Paris February 2001.

DOSSIER

Graziano Cerica

Metadati e risorse digitali

La grande mole di informazioni digitali oggi disponibili, unitamente alla loro dispersività (soprattutto in Internet) ha dato grande impulso alla ricerca di metodologie e di standard per l'applicazione dei metadati alle risorse elettroniche. La conoscenza dell'attendibilità dei dati, della loro provenienza e aggiornamento è però possibile solamente con un'informazione 'di qualità', che sia strutturata e organizzata per permettere la ricerca e il recupero di dati pertinenti e certificati, sia dal punto di vista dell'autenticità che della sicurezza.

I metadati sono informazioni che descrivono altri dati, ovvero descrizioni che esprimono il contenuto e le caratteristiche dei documenti. Un record di metadati è l'insieme degli elementi necessari per descrivere una risorsa informativa; per esempio: le schede di catalogo di una biblioteca sono metadati, contengono cioè tutti gli elementi che descrivono ogni libro della biblioteca: autore, titolo, data di creazione o pubblicazione, argomenti trattati e la collocazione fisica dell'esemplare. La funzione dei metadati è quella di permettere (o comunque di facilitare) le seguenti operazioni:

- la ricerca, per individuare l'esistenza di un documento primario;
- la localizzazione, per rintracciare una particolare versione del documento primario;
- la selezione, ovvero analisi, valutazione e filtro di una serie di documenti primari senza dover accedere al loro contenuto;
- l'interoperabilità, per eseguire una ricerca in ambiti disciplinari diversi grazie a una serie di equivalenze fra i termini che descrivono l'oggetto;
- la gestione delle risorse informative, ovvero poter gestire le raccolte di documenti primari grazie a strumenti come banche dati o cataloghi;
- la validità, per ottenere informazioni sulla effettiva disponibilità del documento primario[1].

Attraverso la meta-informazione possono inoltre essere gestite altre informazioni come i dati amministrativi sulla creazione, il formato, la responsabilità e l'autenticità della fonte, le condizioni di accesso, le versioni e le modifiche, la disponibilità, il copyright, ecc. I metadati consentono dunque di svolgere, più agevolmente e con maggiore precisione, le tre attività di base che un sistema informativo deve garantire: identificazione, fruizione e conservazione delle risorse elettroniche.

Il concetto di metadato implica l'associazione di

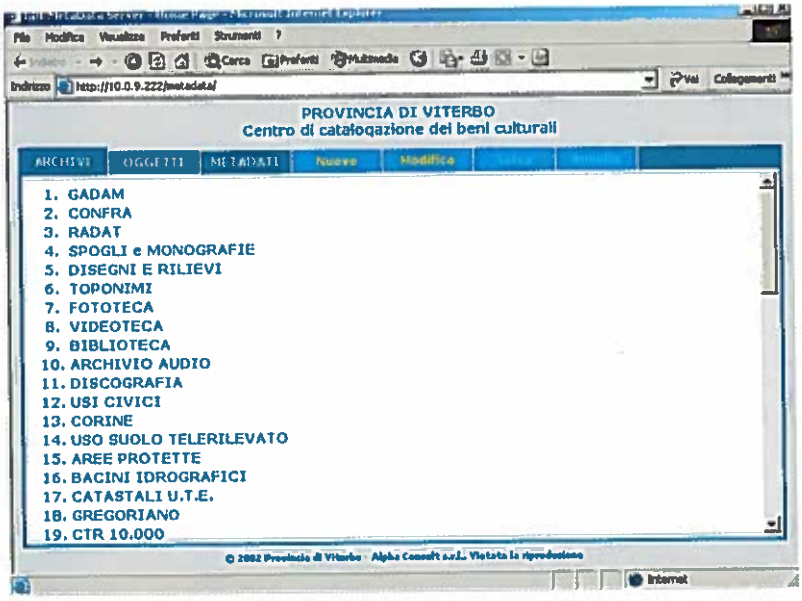


Fig. 1
La lista delle risorse disponibili.

una risorsa alla sua descrizione. In questo senso, possono essere considerati metadati anche le informazioni memorizzate nei campi 'META' delle pagine HTML (inseriti all'interno della risorsa) e l'indicizzazione operata dai motori di ricerca (metadati associati alla risorsa tramite la sua URL)[2].

A seconda della procedura con la quale vengono creati, i metadati possono:
- essere inseriti all'interno del documento che descrivono;
- costituire un documento distinto, anche se strettamente collegato, alla risorsa descritta;
- far parte di un archivio elettronico distinto da quello che contiene il documento digitale.

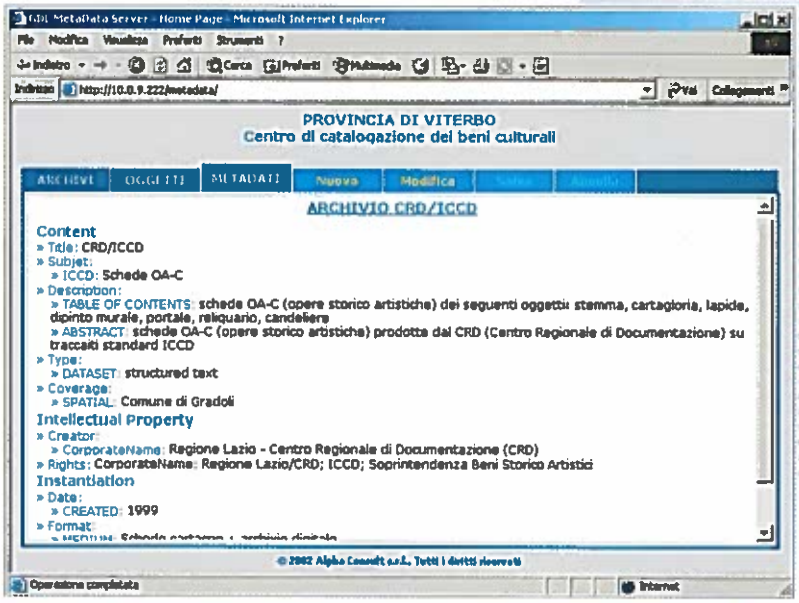
Il primo caso presuppone che la creazione dei metadati avvenga in sincronia con la produzione del documento digitale[3]; il terzo, generalmente, è frutto di una catalogazione professionale che avviene in un momento successivo a quello della produzione della risorsa da descrivere.

La creazione di un archivio di metadati è un'operazione complessa e richiede particolare attenzione per gli aspetti che riguardano il controllo dei termini da utilizzare e la compatibilità con gli standard esistenti.

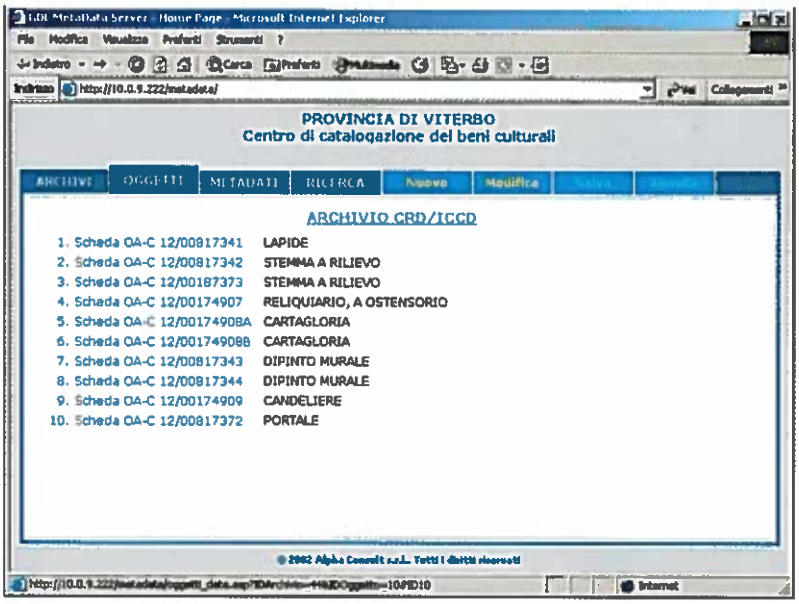
Si potrebbe ipotizzare la predisposizione di insiemi omogenei di metadati destinati ad ambiti definiti di risorse digitali (progetti ed applicazioni specifiche) ma è preferibile adottare uno standard universale basato sul principio della descrizione da parte dell'autore e curare la compatibilità dei set specifici con lo standard generale, in modo da garantire l'interoperabilità[4]. In molti casi, data la complessità di alcuni sistemi informativi, è necessario prevedere set diversi per funzioni (ad esempio uno per il contenuto, uno per la conservazione) e per livelli descrittivi (ad una descrizione sommaria può essere affiancata una più completa), prevedendo la possibilità di ospitare tutti i set in un'architettura comune.

Limitandoci a trattare il problema della metainformazione dal punto di vista funzionale, possiamo distinguere due grandi categorie:
- metadati descrittivi, finalizzati al recupero della risorsa;
- metadati gestionali, necessari alla gestione della risorsa[5].

La terminologia si sta ancora consolidando e in letteratura si possono trovare distinzioni più articolate[6]; tutte le proposte sembrano comunque concordare sull'opportunità di organizzare i metadati su base funzionale e per categoria: per esempio, il metadato che descrive il formato di un file PDF è utile sia alla conservazione che all'amministrazione della risorsa digitale.



2



3

Fig. 2
Esempio di schedatura del metadato di una collezione. I qualificatori utilizzati sono stati ricavati da Dublin Core Qualifiers.

Fig. 3
Gli oggetti dell'archivio OA-C. In questo caso gli oggetti corrispondono alla singola scheda cartacea (o record del database).

Uno standard che risponde a questi requisiti è Dublin Core[7] che permette la descrizione delle risorse in modo da garantire un livello minimo di catalogazione per ciascun documento e costituisce la premessa per eventuali successive indicizzazioni più dettagliate da parte di automi o di catalogatori umani professionali. Progettato per essere interpretato dai motori universali del web per la ricerca in rete, Dublin Core è ormai uno standard consolidato che vanta numerose applicazioni in tutto il mondo. La sua ultima versione prevede 15 elementi la cui semantica è stata stabilita attraverso il consenso di un gruppo internazionale e interdisciplinare che comprende professionisti provenienti dal mondo bibliotecario, dall'ambiente museale, dalle comunità di ricerca di biblioteche digitali oltre che da esperti di informatica, di codifica di testi e di altri campi culturali.

Le caratteristiche principali di Dublin Core sono le seguenti:

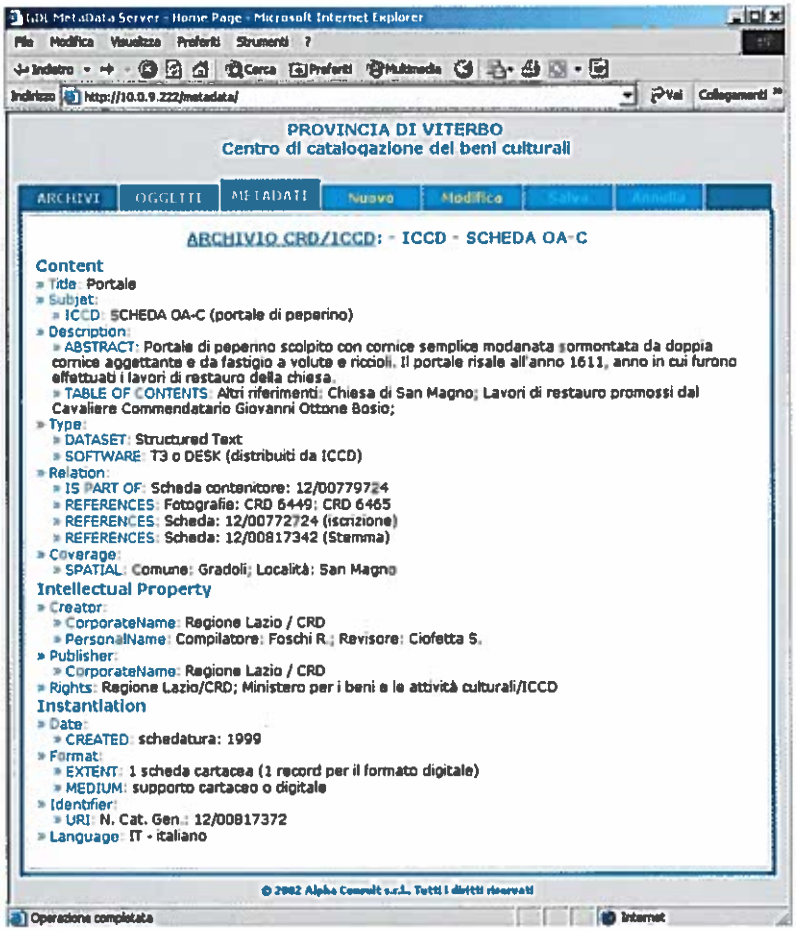
- semplicità di creazione e di utilizzo. Il set di elementi è stato mantenuto semplice e limitato per permettere a chiunque, anche a chi non si occupa professionalmente di catalogazione di dati, di creare facilmente ed economicamente semplici record di descrizione di risorse;
- interoperabilità semantica. Dublin Core fornisce un lessico il cui valore è universalmente compreso e supportato nei diversi campi della conoscenza. In questo modo è possibile superare le differenze di terminologia e di metodo descrittivo, tipici delle diverse discipline;
- estensibilità. Per bilanciare il bisogno di semplicità nella descrizione delle risorse con l'esigenza di precisione nel recupero dei dati, è stata prevista la possibilità di estendere il set di elementi standard con appositi qualificatori. Questo modello consente a comunità diverse di usare Dublin Core per descrivere le informazioni essenziali che saranno utilizzate per lo scambio di informazioni in rete ma anche di aggiungere informazioni che abbiano un significato preciso all'interno di un ambito più limitato.

Grazie a queste caratteristiche Dublin Core risulta essere uno degli standard più applicati nella descrizione di oggetti in diverse tipologie di supporti a beneficio dell'interscambio di informazioni fra comunità diverse. Viene infatti utilizzato come 'lingua franca', cioè come minimo comune denominatore per l'indicizzazione di database eterogenei.

La Provincia di Viterbo sta sperimentando l'uso dello standard Dublin Core per la descrizione dei metadati della propria banca dati territoriale e sta costruendo un'applicazione informatica che ne faciliti l'uso. Tale lavoro nasce dalla necessità di organizzare la fruizione e lo scambio di risorse digitali, sia a livello di gestione dei dati di base comuni ai

Fig. 4
Un esempio di metadato ricavato da una scheda OA-C compilata sulla base degli standard ICCD.

4



diversi uffici dell'ente, sia a livello di servizio per gli utenti. I dati da trattare sono eterogenei e di natura multidisciplinare; spaziano da informazioni gestionali ed amministrative di tipo testuale alle rappresentazioni grafiche del territorio, comprendendo in queste ultime sia la documentazione di base (i diversi tipi di cartografia, l'aerofotogrammetria, ecc.) che gli strumenti di gestione del territorio (posizionamento di parchi, discariche, strade, vincoli di varia natura, siti archeologici, zone a rischio, ecc.). Il risultato finale sarà un database on line, consultabile con procedure guidate in rete locale e/o remota, gestito da un portale di servizi accessibile via Intranet e/o Internet. Tramite il portale sarà possibile accedere a diversi livelli di informazione:

1. consistenza della banca dati archiviata;
2. descrizione del dato archiviato (scheda del metadato);
3. visione del dato integrale;
4. acquisizione di documentazione digitale certificata, utilizzabile come dato di base ufficiale per altre elaborazioni (progetti di professionisti, pianificazione territoriale degli enti, studi per tesi di laurea, pubblicazioni, ecc.).

Le descrizioni dei metadati comprenderanno anche le informazioni sul copyright, le indicazioni per l'acquisizione del dato ed il suo utilizzo in formato digitale (compreso il software da utilizzare per la fruizione).

Note

[1] R. Ridi, *Metadata e metatag: l'indicizzatore a metà strada fra l'autore e il lettore*, <http://www.aib.it/aib/commiss/cnur/dltridi.htm>. Questo e tutti gli altri indirizzi indicati in questo contributo sono stati controllati alla data del 1/02/2003.

[2] Cfr. <http://www.w3.org/Addressing/URL/>.

[3] È il caso del citato esempio dei campi 'META' inseriti nelle intestazioni delle pagine HTML.

[4] Per un inquadramento generale sui problemi dell'interoperabilità, cfr.: P.G. Weston, *Il catalogo elettronico. Dalla biblioteca cartacea alla biblioteca digitale*, Roma 2002, pp. 153-156.

[5] Nei 'metadati gestionali' sono comprese anche le informazioni sulla conservazione e sulla fruibilità futura della risorsa (cfr. M. Santoro, *Conservazione del digitale: definizioni, strategie, approcci*, relazione al *Seminario nazionale sui metadati*, Roma 3 aprile 2001) <http://www.iccu.sbn.it/semimeta.htm> e la gestione dei diritti di accesso alla risorsa, per i quali esistono set di metadati specifici, per esempio il Digital Object Identifier (DOI) cfr.: <http://www.doi.org/>.

[6] Per un inquadaramento generale sul dibattito sui metadati, cfr.: A. Di Lorenzo, *Dai dati catalografici alle informazioni sui Beni Culturali: i Metadati*, relazione al *Primo Seminario Nazionale sulla Catalogazione*, Roma 24-26 novembre 1999, <http://www.iccd.beniculturali.it/news/testo_seminarionazionale.html>; M. Messina, *Tavola rotonda. Metadati amministrativi-gestionali e strutturali. Intervento introduttivo*, relazione al *Seminario nazionale sui metadati*, Relazione presentata al *Seminario nazionale sui metadati*, Roma 3 aprile 2001, <http://www.iccu.sbn.it/Messina.doc>; A. Del Robbio, *Metadati per la comunicazione scientifica*, relazione al *Seminario nazionale sui metadati*, cit; Ead., *Metadati: parola chiave per l'accesso alla biblioteca ibrida*, realzione al convegno *La biblioteca ibrida: verso un servizio informativo integrato*, Milano 14-15 marzo 2002: <http://eprints-test.cab.unipd.it:8080/archive/00000005/01/stelline&metadati.pdf>; P.G. Weston, *op. cit.*

[7] Dublin Core è stato sviluppato a partire dal *Metadata Workshop* del marzo 1995, tenuto presso la sede dell'Online Computer Library Center (OCLC) a Dublin (Ohio), sponsorizzato dal National Centre for Supercomputing Applications (NCSA). Nella home page del Dublin Core Metadata Iniziative (DCMI) il motto «making it easier to find information» (rendere più facile trovare l'informazione) dichiara esplicitamente come l'obiettivo di questo set di metadati descrittivi sia quello di consentire il recupero e l'identificazione delle risorsa documentarie. Cfr. <http://dublincore.org/>.

DOSSIER

Florian Petrescu
Elena Murariu

From dots towards databases

In Romania, most of the mural painting conservators are painters. One of the authors of this paper is one of them.

For the last eighteen years she was systematically involved in graphic documentation tasks. Usually, her role consisted in creating the line-drawing graphic basis (base-map). Well, for a painter this is usually nothing but pleasure. Due to constant practice, she is now able to draw accurate graphic basis in a short time.

Unfortunately, graphic documentation does not consist of graphic basis exclusively. Putting dots, drawing parallel lines and doing things like these on large surfaces of paper is not at all a pleasant thing. But, those tasks must be performed too.

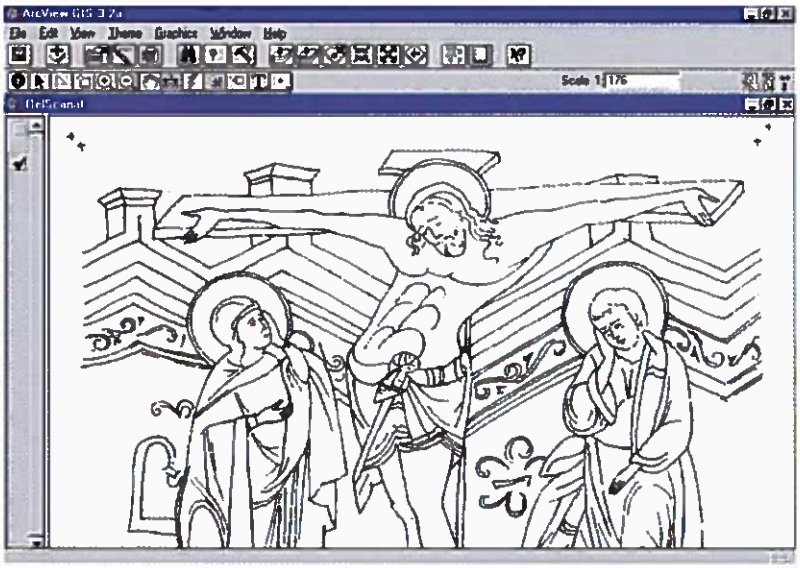
Eight years ago, we decided to try to do the 'unpleasant' part of the graphic documentation with computers. As a matter of fact, we really started from dots. This type of symbol had been chosen to document a certain type of deterioration. It was a one-person job for about three working days, eight hours a day. At the beginning, we believed that millions of dots would be drawn. It was indeed surprising and a little bit disappointing when we found out that it is not so easy to draw a million dots. Based on a simple computation, it results that at most 259.200 dots could be actually drawn within three working days, considering an average drawing speed of three dots per second. Drawing a million dots will take more than ten days. Thus, the first lesson we learned was: never play with figures, especially with millions...

The main objective of our approach was to 'help' the conservator in doing graphic documentation more efficiently by using digital techniques. This very generous objective was not, and still is not so easy to achieve. The most important obstacle we encountered consisted in lack of a common understanding of the problem. This obstacle was overcome by a constant dialog between us. In terms promoted by (Letellier, 2001), we can consider ourselves as typical representatives of information user (namely, the conservator specialist) and information provider (namely, the computer specialist). At the same time, it should be emphasized that the first stages of our attempt were developed within a context that was free of any kind of pressure. Nevertheless, we believe that this type of ideal situation is not at all easy to replicate.

The next section of the paper presents the basic issues related to the way the authors built a common language during their first digital graphic documentation experiment. The third section describes the authors' experience in applying their ideas for the first time in a real-world application. Finally, the paper presents several conclusions and further possible developments.

FUNDAMENTAL ISSUES

Our main objective was very clear stated: to help the conservator. What was not so clear was the way to achieve it. Because our professional backgrounds are so different, each of us had different views of the problem. As we already mentioned, the most difficult task we had to cope with consisted in bridging this gap, in order to have a common



1

2

Fig. 1
Traditional graphic basis after scanning (detail). Four tics can be noted in the upper area of the graphic basis.

Fig. 2
Scanned graphic basis displayed in detail (zoom in) beyond the threshold of scanning resolution; consequently, the pixels become visible.

After getting the new drawing the computer specialist asked for something that was never included within the graphic basis; namely, he requested (at least) four tics. A tic is a point with 'known location' on the surface to be documented, where 'known location' means with known or measurable (x, y) Cartesian coordinates. These points were chosen as the four corners of the scene framework. Tics are needed for several reasons such as: registration, overlay and digitally assembling neighboring (adjacent) scenes. The accuracy of these operations critically depends on the accuracy of the tics coordinates. A short remark related to the number of tics: at least four of them are need because otherwise it is impossible to compute geometric transformation of the drawing; the accuracy of the transformation is in proportion to the number of tics. In our particular example, eight tics were used.

Data conversion from hardcopy transparent paper to digital format followed. We decided to use the method of vectorizing the scanned graphic basis.

Therefore, the first data conversion step was scanning. There are two important technical aspects related to scanning: choice of the scanner and choice of the scanning resolution. Indeed, when scanning a base-map, it is desirable to use a large enough scanner in order to scan the whole graphic basis once. That is why we used a scanner, which can scan documents having at most A0 format (36 x 48 inches). At the same time, it is important that the scanner induces no additional geometric deformations. For that purpose, we chose a scanner that operates with high geometric accuracy, this type of scanner being used for scanning maps. Such a scanner has a better-calibrated sensor and a fine accuracy in order to preserve maps geometry. The value of the scanning resolution was established taking into account three factors:

a) the width of the lines in the paper graphic basis, namely 0,2 mm;

b) the need for a line to be represented after scanning as a band having the width of at least three pixels;

b) the need to minimize the size of the file resulting from the scanning process.

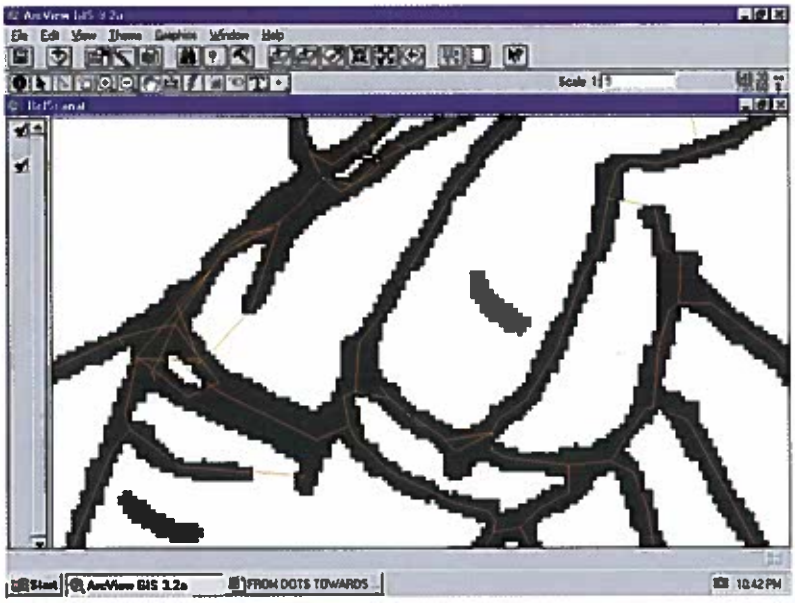
Thus, we used 300 dots/inch as scanning resolution. After scanning, the graphic basis was available as a computer file. Fig. 1 illustrates a display of this file. This file was its first digital form, being a file in a raster format that is usual for storing images. We did not stop at this stage because of the drawbacks of processing raster files: large storage space required, lack of flexibility in displaying and printing due to the limits imposed by the raster (scanning) resolution. Fig. 2 includes a detailed

display (zoom in) of the scanned graphic basis beyond the threshold of scanning resolution.

Thus, we continued the data conversion process by vectorizing the raster file previously generated during scanning. This step was performed using specialized vectorizing software. This type of software assisted us in converting the file from raster format to vector format. More precisely, raster to vector conversion means that the raster file is transformed in another file or set of files according to a vector data model. A vector data model is closer to working with drawings, because such a model consists of points, lines and polygons, all of them considered in a (x, y) Cartesian space. Points are recorded as a couple of (x, y) coordinates, lines as a sequence of ordered (x, y) coordinates that defines the segments composing the line and polygons as a sequence of (x, y) coordinates defining the line segments that form its border. Thus, the result of vectorizing needs a very small storage space in comparison with the same data stored in a raster format. This is due to the fact that, for instance, a segment is stored using only four numbers, namely two couples of (x, y) coordinates correspond to the two end-points of the segment. Fig. 3 illustrates the vectors resulted after vectorizing the raster in fig. 2.

Vectorizing the graphic basis revealed some problems too. One of them is related to the set of vectorizing parameters (angles, distances, colors) that had to be tuned in an appropriate way. After accomplishing this step, the vectorizing proved to be not so simple as we imagined because a lot of inherent ambiguities had to be solved by us. Indeed, proceeding in an automated mode, the speed of vectorization process increased considerably but, due to inherent geometrical problems, there were generated several residual lines. These lines had to be removed as they were not representing real-world entities. Fig. 4 presents such a situation, before removing the additional lines. Once again, the prejudice about the 'autonomous' computer was shattered.

3



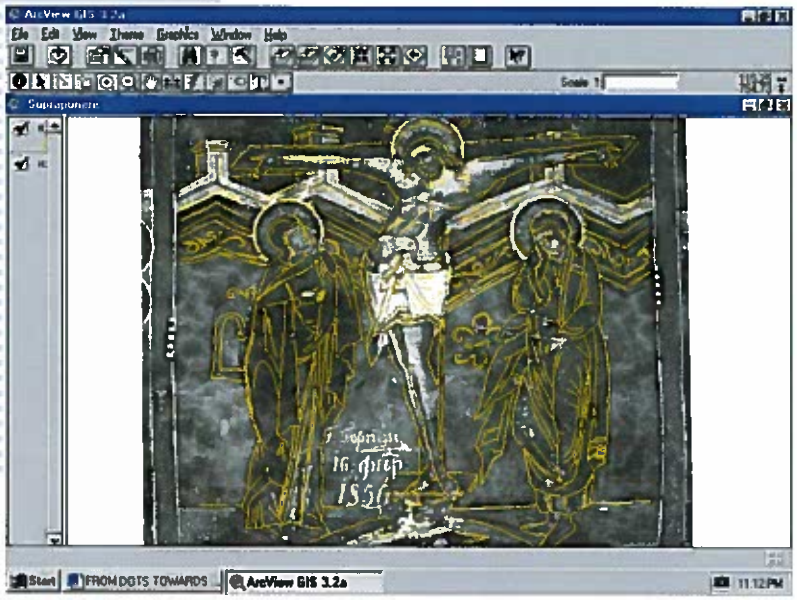
4

Fig. 3
Lines (vectors) extracted from the raster file form of graphic basis illustrated in figure 2.

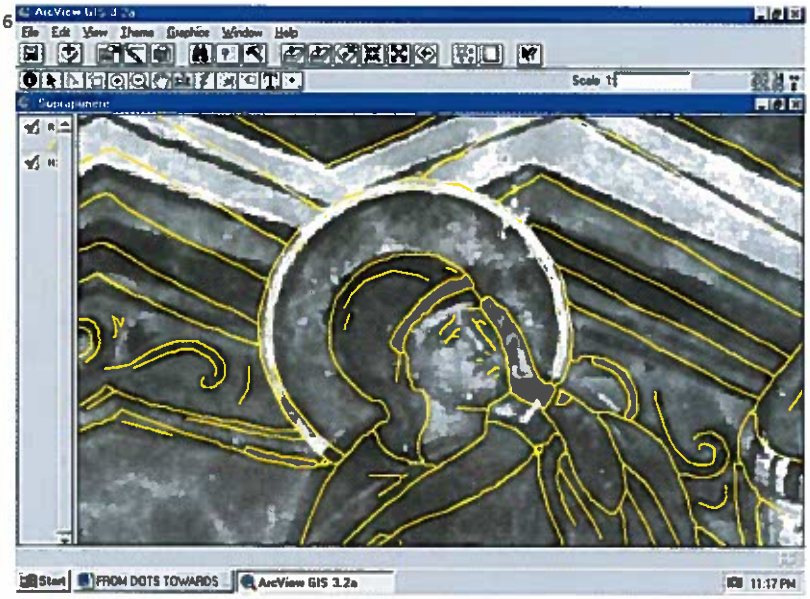
Fig. 4
Vectorial form of the graphic basis before removing residual lines generated during automated vectorization.

We overlaid the vector graphic basis onto a rectified photograph of the scene. The result was quite impressive in terms of the accuracy of the vector graphic basis. Fig. 5 offers a general view of this overlay, while fig. 6 is a detail of the previous one. Initially, we believed that it would be very difficult to have a geometrically undistorted vector graphic basis. But this overlay proved that it is not recommendable to minimize the restorer's ability to accurately draw. Especially, if she or he is an experienced painter.

Finally, the experiment ended by plotting the



5



6

Fig. 5
Vectorial form of the graphic basis overlaid onto a rectified photograph of the mural painting scene.

Fig. 6
Vectorial form of the graphic basis overlaid onto a rectified photograph of the mural painting scene (detail).

graphic basis in its vector form using a pen plotter at the real-world scale that is 1:1 scale. The outcome had a very good quality and, therefore, proved the idea that vector format provides extreme flexibility in working with graphic documentation.

After carrying out all these steps we realized that such a procedure is a very time consuming and requests rather expensive equipment and software. That is why we decided not to continue with the second sub-problem, which dealt with the automation of graphics that represent deterioration and conservation treatments. Nevertheless, because of its practical approach, the experiment was the best way for each of us to understand the main problems of the other's professional field. At the same time, the procedure used within the experiment could be valuable in those cases when simplified graphic information is required.

The most important follow-up of this experiment was the fact that we decided to use rectified or ortho-rectified photographs in digital format as graphic basis. This decision crystallized when comparing the effort for rectifying a photograph to the effort for conversion into a useful digital form the traditional graphic basis by scanning and vectorizing it.

Set of drawings and spatial databases

Our digital graphic documentation experience continued in a quite different way. We adopted a new approach based on the similarity with the field of geographic information systems (GIS). We described this new approach in (Murariu, Petrescu, 1999) and (Murariu, Petrescu, 2000). Basically, we adapted the usual GIS procedures to the requirements of digital graphic documentation. This was naturally possible because the restorer acts just like a surveyor and geographer when accomplishing graphic documentation.

In the following, we provide a short presentation of our approach. The main objectives we considered are (Murariu, Petrescu, 2000):

1. to reduce the conservator's effort dedicated to graphic documentation of mural paintings;
2. ease of symbolizing and symbol manipulation;
3. to avoid the subjectivity of traditional handmade graphic basis (base-map);
4. better accuracy in locating and describing the deterioration and conservation treatments;
5. graphic documentation display at various (convenient) scales;
6. flexible overlay capabilities between the graphic basis and various combinations of thematic layers;
7. the method should be easy to learn by the con-

servator;
8. to reduce the costs as much as possible.

The method we proposed has three components:
- graphic reference basis consisting of a rectified digital image;
- thematic component including points, lines and polygons describing deterioration phenomena or conservation treatments;
- descriptive component including mainly attribute data of various kinds: text, numeric values, images, and so on.

The first opportunity to apply this method appeared in 1999, in connection with the mural painting restoration works from the Monastery of Bistrita (Bolnita) which is located at about 200 km west from Bucharest. Unlike the experiment presented within the previous section, this time our work was undertaken under certain constraints and pressure. The most important one was the short time available for the whole conservation activity and, consequently, for documentation too. Also, due to lack of portable hardware, all the digital processing was performed in studio, in Bucharest.

Our work was organized starting from the needs expressed by the restorer. Also, the activities were carried out taking into account the priorities of the conservation works. Thus, everything was done following what is usually called 'user requirements' in the field of information technology. It was the computer specialist's task to take care of all technical details related to the use of computer technology, such as choice of software and equipment, file management, attribute definition, database design, naming conventions, systematic back-up and so on. The restorer being liberated from these types of concerns, our main objective, namely to really help the conservator in her work, became thus achievable.

We started by creating the graphic (reference) basis. We accomplished this task in a practical way, combining rectified photographs with digital drawings. For instance, the areas that totally lost the pictorial layer were represented as digital drawings, as illustrated in fig. 7. This was done by using the editing functions of the GIS software we used, namely ArcView GIS.

The creation of the graphic basis was performed using a 'room oriented' approach. Namely, for each room of the church, a corresponding coordinate system was defined. In this way we were enabled to perform some graphic developments of the exonarthex and nave. The vaults were separately treated, being represented by projections in horizontal plane. The altar was represented using digital drawings because rectification cannot be applied to its curved surface. Our attempt to decompose the altar surface in several disjoint regions was unsatisfactory because the graphics that depicted deteriorations and treatments became

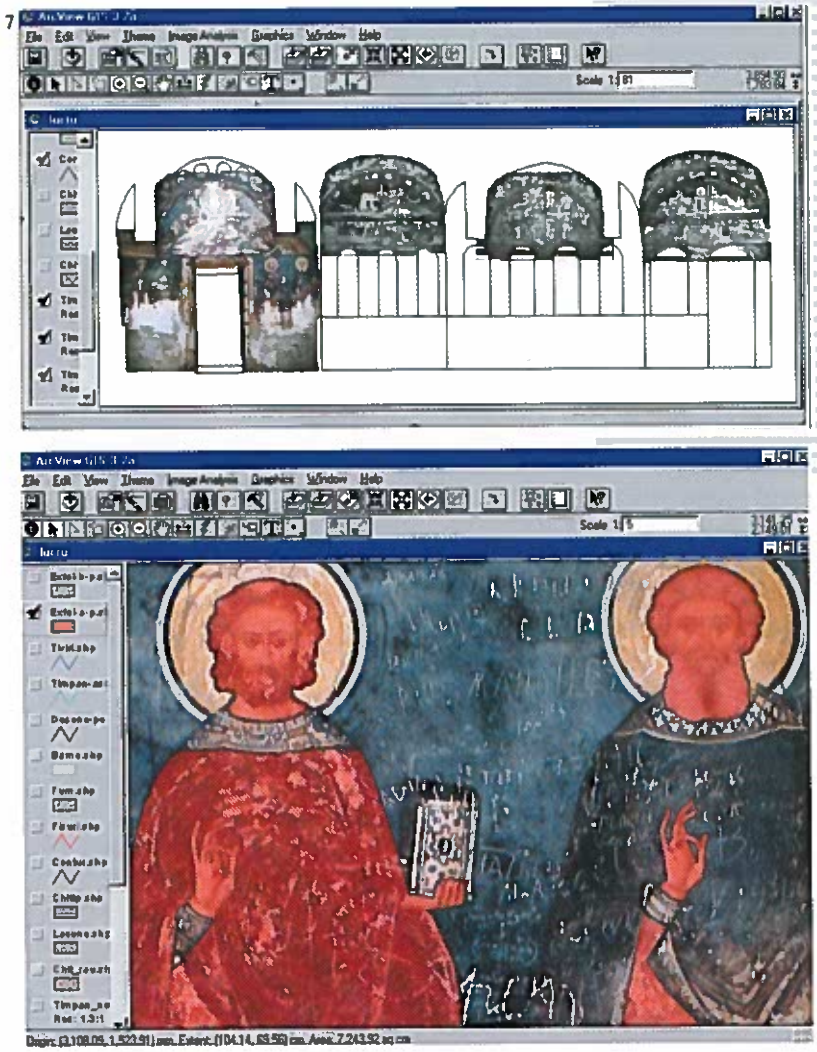


Fig. 7
The graphic basis of the whole exonartex displayed in developed form. It includes rectified photographs combined with digital drawings.

Fig. 8
In red, deteriorated area drawn by the restorer. The background (graphic basis) consists of the rectified photograph that was displayed here in its colored version.

9

10

Fig. 9
For the hidden areas, the restorer draws a simplified line-drawing graphic basis, using the same software.

Fig. 10
The result of the simplest spatial query: the 'Identify Results' window that appears afterwards includes all the data already introduced in the database: shape, area (in square mm), wall and scene.

discontinuous and, of course, difficult to read.

The restorer remarked that this way of creating the graphic basis has several advantages. The most important of them is that the restorer maximizes the time for intervention and minimizes the time spent for graphic documentation. But, at the same time, this approach eliminates an important learning possibility for the restorer; indeed, when drawing the graphic basis by hand, in the traditional way, the restorer is learning a lot about the mural painting, about the iconographic aspects, about the details of the mural and, of course, about its condition. Nevertheless, the 'learning' sacrifice should be accepted for the sake of efficiency, in terms of time saving.

Subsequently, the graphics describing deteriorations and conservation treatments were drawn by the restorer herself, as illustrated in fig. 8. She learned the minimum needed in order to effectively operate ArcView GIS for graphic editing purposes. The restorer acted autonomously and was assisted by the computer specialist who provided any technical information required in the process of thematic component creation.

A particular problem appeared in exonarthex, where a wooden beam hid a small surface of the mural. The beam was very close to the wall and, therefore, it was very difficult to avoid it from the photographs. The restorer decided to draw by hand the graphic basis for the hidden area. The outcome can be seen in fig. 9. This was also done using ArcView GIS graphic editing functionality. Unfortunately, doing this job with a mouse transformed the joy of drawing into a torment. Of course, if a specialized drawing device would have been available, such as a graphic tablet, then the restorer had the possibility to express herself in a more natural way, by free-hand drawing. So, a new lesson learned: take care at the appropriate devices you can connect to the computer because they can make life easier for you.

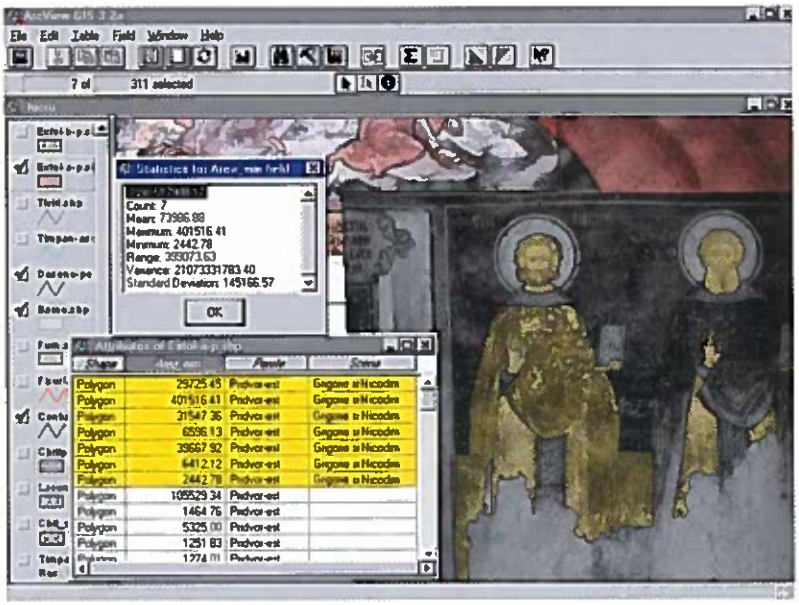
The graphic basis printouts, on A4 format sheets of paper, proved to be very useful. They referred, details, scenes, walls or even entire rooms of the church. The printouts were easy to achieve because of the flexibility offered by digital data processing functionality included within ArcView GIS. The graphic basis was printed in black and white having a low contrast. Thus, being rather pale, they eased the restorer's task while recording the mural painting condition. The restorer performed this task *in situ*, directly on the printed graphic basis forms, using several pens with different colors. It should be mentioned that they are still used in current conservation activities.

The above paragraphs include the main characteristics related to our approach and to the way the cooperation between the restorer and the computer specialist took place. Before starting our work, we believed that the graphic documentation will consists of a set of drawings. After we accomplished the task we realized that what we did was more than that. The outcome was a database. More precisely, a spatial database where appropriate attribute data were associated to each relevant graphic element. Due to this, we had an extreme flexibility in querying and displaying the data. Let us mention here several types of queries that were made possible because of our approach:

- What is ... ? This is the simplest query. Just click the mouse on a graphic element, be it a point, a line or an area (polygon). Then, on the screen, a window will appear. This window will present all the data related to that element included in the database. Fig. 10 illustrates the answer obtained after clicking the polygon covering the blessing hand, in the eastern wall of the exonarthex, scene with the St. Grigorie and St. Nicodim.
- Where is ...? This question addresses directly the data in the database. For instance, the answer to the question «where is exfoliation of type A in the scene entitled *Grigorie si Nicodim?*» is shown in fig. 11; more precisely, the yellow polygons represent all the exfoliations of type A in the previously mentioned scene. The question addressed the thematic component corresponding to exfoliation of type A that is defined for all the exonarthex. The window shows the way the original question was transformed in a specific query using the tools provided by ArcView GIS.
- How much is ...? Fig. 12 illustrates the answer to such a 'computing' question, namely «how much is the area with exfoliation of type A in the scene entitled *Grigorie si Nicodim?*»

Of course, the database we achieved is a rather small one, as the problems we tackled were not so many. But, there is no limit for the complexity of such a spatial database. Maybe the best example in this sense is *La Carta del Rischio del Patrimonio Culturale* developed by the Instituto Centrale per il Restauro (Castelli, 1997).

11



12

Conclusions and further developments

There are two important conclusions related to digital graphic documentation, which can also be considered as success factors:

- under certain conditions, the use of computers for graphic documentation purposes might be extremely useful and effective. These conditions refer to the constraints related to the conservation works (per-

Fig. 11
The answer is represented by the yellow poligons. The window shows the way the original question was transformed in a specific query using the 'Query Builder' tools provided by ArcView GIS.

Fig. 12
The answer is given in the first line of the window entitled 'Statistics for Area_mm field', namely 517908,17 square mm (0,51790817 m²).

sonnel, time, money);
- the conservation team should have a strong internal cohesion based on commitment and motivation and should include a member that has computer technology skill.

We believe that our personal experience, as a family, might be considered sometimes as the ideal case for team internal cohesion. In spite of that, we strongly believe that the communication between the conservator and the computer specialist will be achieved easier and easier taking into account the spreading of computer and information technology knowledge in present and future generations of conservators.

A few words about costs. Our first experiment was accomplished using highest quality hardware and software, at that time, that is back in 1997; namely we used UNIX workstation as hardware and the UNIX versions of ERDAS Imagine (for digital image processing), ESRI's ARC/INFO (for vector GIS processing) and Windows version of ArcView GIS, also from ESRI, as software. This was and still is expensive. The costs of hardware and software were considerable lower when we applied our method a few years later within the Monastery of Bistrita restoration works. This is due to the general trend encountered in computer technology: the prices decrease while the functionality is increasing. But, on another hand, we should also mention that the functionality we needed was not so rich as it was the case with our first experiment.

So what is the conclusion about the cost of hardware and software? Are they cheap? For sure they are cheaper than three years ago and much, much cheaper than ten years ago. But a definite answer to this question cannot be provided. Moreover, we believe that the cost problem should be carefully stated, otherwise it will become a false one. For example, the use of digital technology within the restoration of Michelangelo's frescoes in the Sistine Chapel (Petrignani, 2000) or the archival documentation system developed for the restoration of *History of the True Cross* by Piero della Francesca in Arezzo (Casciu et al., 2000) are not cheap solutions. But, in these cases the use of computers proved extremely valuable. So, about the cost of using computers, we may conclude: it is not cheap but if it is worthwhile then use them.

Throughout our paper we used the term 'computer' having the general meaning of hardware and software. We should emphasize the importance of the software component of a computer system. The GIS software we operationally used, namely ArcView GIS, is not software designed or tailored for digital graphic documentation applications. It is a general use GIS software belonging to desktop GIS class and it is probably the most used product worldwide in its class. We chose ArcView GIS because it fits very well our requirements. Moreover, being a member of the larger ESRI's family of GIS products, ArcView GIS enables further complex developments of our project.

We should note that the use of GIS technology for the (graphic) documentation of conservation works seems to be a rather developing process, see for instance (Monti et al., 1998), (Anastasiou et al., 1999), (Styliadis, Paraschakis, 1999), (Palumbo, 2000), (Szambelan, 2000). Nevertheless, there are also other types of software that are useful and that are currently used for the same purpose; for instance CAD (Computer Aided Design) software or software generally used for graphics and desktop publishing. In our opinion, the main problem related to the effective use of computers for documentation purposes is not related to the type of software, be it GIS, CAD or whatever.

As long as digital graphic documentation means data management and information retrieval it follows that this problem is nothing else but a spatial database problem.

From this point of view, GIS technology seems to be the most mature as advanced concepts such as 'database cartography' are under current development.

understanding of what, why and how should be done.

We started in a rather simple way, by experimenting our current ideas at that time. Our work began by answering simple but basic questions, such as the following. What is conservation about? What is a computer? What is documentation? How is inside a computer? What is the role of graphic documentation? What are the problems that arise when using a computer? What about standards? What is the meaning of 'strange' words like: harddisk, 'mega', pontata, RAM, processor, giornata, software, backing, hardware, facing, cleaning, fresco, byte, pixel, resolution, condition recording, data, intonaco, raster, vector, format?

One might argue that these questions are not relevant to (digital) graphic documentation issues. Yes, indeed they are not directly related to that but, how to communicate with someone if the basic knowledge is not shared? This basic knowledge is primarily needed for avoiding dangerous cases when one asks for things having no idea about what would be the effort required, the resources involved (time, money, equipment), the implications for further activities.

Our first experiment related to graphic documentation consisted in trying to do with computers what a restorer does in a traditional way. More precisely, our attempt was to reproduce, as accurate as possible, the *process* of doing graphic documentation. This is the best way to identify the problems related to the use of computers in this context. This is the best way for a restorer to understand computers and, on the other hand, for a computer specialist to understand graphic documentation within the framework of conservation works. The restorer coordinated all the tasks undertaken during the experiment, while the computer specialist subordinated his activity to the objectives established by the restorer. At the same time, the computer specialist provided enough technical information to the restorer in order to achieve an optimal support for her decisions.

Thus, the restorer asked the computer specialist to 'automate' the existing graphic documentation corresponding to a certain mural painting scene. The graphic basis was drawn by hand at the 1:5 scale. In order to accomplish this task, the computer specialist followed the ancient principle *divide et impera* and decided to split the problem in two sub-problems:

a) automation of graphic basis and

b) automation of graphics that represent deterioration or treatments.

The first sub-problem was tackled by using existing graphic documentation already drawn by the restorer that included both graphic basis and graphics representing deterioration and conservation treatments. The computer specialist discovered that it is not simple to detect the lines that compose the graphic basis from the other ones. Consequently, he asked the restorer for a drawing including the graphic basis only.

There were some additional 'restrictions' the computer specialist imposed: all the lines in the drawing should have the same width and the lines should be as continuous as possible. The restorer was surprised by these restrictions because in Romania the graphic documentation is often judged from an artistic point of view. We have to mention again that Romanian mural painting restorers are painters. Nevertheless, these restrictions should not be seen as trifles. They are consequences of the fact that we did not consider the graphic basis as a work of art but as a base-map. Thus, we had to provide enough data in order to create the possibility of identifying some 'regions' in the base-map, with well-defined borders; for example, one should have the possibility to compute areas and perimeters for these regions. At that time, the restorer learned a new lesson: any prejudice related to the intrinsic capabilities of computers (for instance, the computer 'draws' easily, the computer 'understands' a base-map) should be abandoned.

REFERENCES

Anastasiou et al., 1999: A. ANASTASIOU, A. GEORGOPOULOS, G.N. MAKRIS, N. CHATZIPARASSIDIS, *Documentation of Frescoes and Mosaics: a Complete Approach*, the 17th Symposium of the International Committee for Architectural Photogrammetry, Olinda (Recife, Brazil) October 3-6 1999, <http://cipa.icomos.org>.

Casciu et al., 2000: S. CASCIU, G.A. CENTAURO, M. CHIMENTI, *The Archival Documentation System: the Computerized Heart of the Restored* History of the True Cross by *Piero della Francesca*, in W. SCHMID (ed.), *Graphic Documentation Systems in Mural Painting Conservation*, Rome 2000, pp. 208-219.

Castelli, 1997: G. CASTELLI (ed.), *La Carta del Rischio del Patrimonio Culturale*, Roma 1997.

Letellier, 2001: R. LETELLIER, *CIPA, ICOMOS and the CGI – Status Report on RecorDIM Initiative*, December 2001, <http://cipa.icomos.org>.

Monti et al., 1998: C. MONTI, R. BRUMANA, C. ACHILLE, C. BALLETTI, L. FREGONESE, F. GUERRA, C. SAVI, *The St. Marcus Basin in Venice (Italy): the Basilica, the Place and the Sea Water*, Proceedings of the 13th ESRI European User Conference CD-ROM, Florence October 7-9 1998, <http://www.esri.com>.

Murariu, Petrescu, 1999: E. MURARIU, F. PETRESCU, *Mural Painting Digital Surveys*, the 17th Symposium of the International Committee for Architectural Photogrammetry, Olinda (Recife, Brazil) October 3-6 1999, <http://cipa.icomos.org>.

Murariu, Petrescu, 2000: E. MURARIU, F. PETRESCU, *Mural Painting Documentation as a Spatial Database*, in W. SCHMID (ed.), *Graphic Documentation Systems in Mural Painting Conservation*, Rome 2000, pp. 125-133.

Palumbo, 2000: G. PALUMBO, *Beyond CAD: a Look at Data Integration and Analysis Using GIS*, in W. SCHMID (ed.), *Graphic Documentation Systems in Mural Painting Conservation*, Rome 2000, pp. 114-124.

Petrignani, 2000: F. PETRIGNANI, *Computer Technology and the Documentation of the Restoration of Michelangelo's Frescoes in the Sistine Chapel – 1987-1994*, in W. SCHMID (ed.), *Graphic Documentation Systems in Mural Painting Conservation*, Rome 2000, pp. 179-188.

Styliadis, Paraschakis, 1999: A.D. STYLIADIS, I.G. PARASCHAKIS, *Digital Recording, Documentation and Conservation for Byzantine Monuments Using a PC-Based SIS*, the 17th Symposium of the International Committee for Architectural Photogrammetry, Olinda (Recife, Brazil) October 3-6 1999, <http://cipa.icomos.org>.

Szambelan, 2000: R. SZAMBELAN, *GIS and CAD together as an Optimal Solution in Heritage Recording for Documentation, Research and Monitoring for Wall Paintings or Other Types of Artistically Valuable Surfaces*, in W. SCHMID (ed.), *Graphic Documentation Systems in Mural Painting Conservation*, Rome 2000, pp. 170-176.

DOSSIER

Maurizio Forte

Realtà virtuale e modellazione spaziale del bene culturale: conoscenza e comunicazione

Avrebbero potuto dirci qualcosa sulla struttura che connette: che ogni comunicazione ha bisogno di un contesto, che senza contesto non c'è significato, che i contesti conferiscono significato perché c'è una classificazione dei contesti.

GREGORY BATESON[1]

A PROPOSITO DI EPISTEMOLOGIA DEL VIRTUALE

Un tema di notevole complessità quale quello della realtà virtuale pone diverse riflessioni sia di ordine tecnologico che epistemologico; le prime dipendono fortemente dalle seconde e costituiscono una base di discussione determinante per ogni progetto interdisciplinare e per una interpretazione corretta della cibernetica e di tutte le applicazioni in questo campo.

Secondo Howard Rheingold «si può pensare alla realtà virtuale come ad una magica finestra spalancata su altri mondi, dalle molecole alla mente»[2]; nel suo lavoro più importante Rheingold descrive storicamente la realtà virtuale come un simulatore di esperienze artificiali per vedere e riplasmare mondi tridimensionali. Secondo Wooley[3] la realtà virtuale è «quella tecnologia che viene usata per creare una più intima interfaccia fra l'essere umano e le immagini prodotte dai computer».

Per Pierre Levy[4] «...virtualità e attualità sono solo due diversi modi di essere. [...] Il possibile è già interamente costituito, ma rimane nel limbo. Si realizzerà senza cambiare nulla della sua determinazione e della sua natura; è un reale fantasmatico, latente. Il possibile è esattamente come il reale: gli manca solo l'esistenza. La realizzazione di un possibile non è una creazione, nel senso pieno del termine, poiché la creazione comporta anche la produzione innovativa di una forma o di un'idea. La differenza tra possibile e reale è dunque puramente logica. Il virtuale, a sua volta, non si oppone al reale ma all'attuale». Così il reale si diluisce nel virtuale, ne diventa il pensiero concettuale, visivo e astratto, talora indeterminato, comunque comunicativo.

Credo sia di assoluta importanza evitare *in toto* l'opposizione reale-virtuale (entrambi sono comunque ontologie), ma anche intendere il virtuale come 'succedaneo' o pedissequa simulazione del reale, proprio perché questa eccessiva semplificazione non aiuta alla comprensione del valore epistemico di una tecnologia complessa. Il mondo artificiale non può replicare il reale ma può arricchirlo o impoverirlo, codificarlo, interpretarlo. È un luogo comune pensare che la ricerca del fotorealismo sia un obiettivo primario della realtà virtuale, il virtuale non mira al reale, ma ne modifica la rappresentazione. Per questo il fotorealismo digitale non incrementa necessariamente le facoltà percettive, adegua semplicemente la descrizione o l'illusione della realtà ai mondi artificiali. Nel fotorealismo digitale si crea l'illusione di modellare il reale, ma di fatto si costruisce comunque un altro contesto,

un altro reale. Dunque la contestualizzazione e la connettività, anche spaziale, delle informazioni rappresentano la base di questo tipo di tecnologia digitale.

Secondo questo principio di visualizzazione cognitiva quanto più l'interattività si approssima al reale, tanto più aumenta l'orientamento e l'alfabetizzazione dell'utente. Al contrario, l'opinione dello scrivente è che la realtà virtuale debba proporre nuove grammatiche di comunicazione e inter-connessione volte allo scambio di informazioni, eventi e comportamenti[5], a prescindere da principi di verosimiglianza e approssimazione al 'vero' o al 'presumibile', anche se talora tale illusione può comportare comunque un flusso informativo diretto. Non è esattamente nel muovermi nella Pompei ricostruita in tre dimensioni 'così come doveva essere' che ottengo un rilevante scambio informativo fra la mia mappa mentale e la topografia del sito, ma nella costruzione di nuove mappe mentali e grammatiche visuali, nella contestualizzazione e commensurabilità spaziale dei dati.

L'approssimazione al 'com'era' ha un valore didattico-comunicativo, ma rappresenta sempre un altro mondo artificiale, non dobbiamo dimenticarlo.

A proposito di mappe mentali le regole di metarappresentazione del virtuale riguardano anche il pensiero artistico; a questo proposito Arnheim sostiene che: «Se consideriamo quadri famosi del passato – un Raffaello, un Rembrandt [...] – con i soliti pregiudizi e senza troppa attenzione, avrebbero visto esplicitamente repliche precise della natura, paesaggi e interni, nature morte e figure umane. Era forse probabile che essi riconoscessero la presenza di *patterns* estremamente astratti nella propria mente e, per immagini, intendevano qualcosa di completamente diverso?»[6]. Lo stesso principio che regola la costruzione e la percezione di *pattern* astratti, di geometrie informative sensibili, ben diversi dal reale, si possono ritrovare nelle applicazioni di realtà virtuale, ne costituiscono il pensiero visivo. La realtà virtuale è di per sé simbolica, perché comunica attraverso astrazioni: «Un'immagine agisce come simbolo nella misura in cui raffigura cose ad un livello di astrazione più alto di quello cui si trova il simbolo stesso»[7].

Secondo la cibernetica di Bateson, l'apprendimento avviene 'per differenza', «[...] la percezione opera solo sulla differenza. Ricevere informazioni vuol dire sempre e necessariamente ricevere notizie di differenza, e la percezione della differenza è sempre limitata da una soglia. Le differenze troppo lievi o presentate troppo lentamente non sono percettibili: non offrono alimento alla percezione. [...] La scienza non prova, esplora». La teoria batesoniana della conoscenza ci pare del tutto consona a spiegare i meccanismi di elaborazione dell'informazione: i dati di per sè sono oggetti neutri, la conoscenza di un sistema spaziale avviene per l'interazione (la differenza) fra le parti che lo compongono o per la simulazione di eventi connessi. Più aumenta la differenza, nell'interazione virtuale, più si incrementa l'apprendimento.

Secondo la proposizione di Korzybski «la mappa non è il territorio», alla percezione o comunicazione corrisponde una codificazione fra la cosa comunicata e la sua comunicazione[8], questa è la 'trasformazione cibernetica' ovvero il fine scientifico prioritario della realtà virtuale. Nel virtuale è 'la differenza' a costituire il valore cognitivo dell'ambiente artificiale, della logica dell'apprendimento; nella dinamica degli eventi e dei comportamenti interattivi si crea appunto una 'differenza', preambolo all'acquisizione cognitiva.

Altrove ho interpretato il virtuale in senso strutturalista, in cui il tutto, inteso come contesto, è maggiore della somma delle parti perché ne incrementa lo stato informativo[9]; la costruzione del contesto è la premessa indispensabile per arricchire l'apprendimento, veicolare nuove prospettive e approcci cognitivi. Non a caso, per altro, già nel corso delle prime sperimentazioni computazionali a Palo Alto negli anni sessanta si parlava di 'realtà incrementata' per definire la virtualità digitale; in

questo incremento si identificava e si identifica il valore epistemico della tecnologia: catalizzare la psico-percezione e l'apprendimento attraverso ambienti visuali e informativi complessi.

Nello specifico l'interazione fra tecnologie di realtà virtuale e beni culturali è stato finalizzata sino ad oggi e nella maggior parte dei casi a progetti di comunicazione didattica e, in piccola parte, di comunicazione scientifica, con finalità per lo più di visualizzazione avanzata[10]. Questo stato dell'arte ha comportato un certo scetticismo di una parte del mondo scientifico nei confronti del 'bene virtuale' o meglio della '*virtual heritage*'[11], relegando le applicazioni di realtà virtuale esclusivamente nel novero della didattica avanzata o dell'*edutaiment*. Queste valutazioni sono in parte condivisibili, infatti la predominanza del 'visuale' rispetto al 'percettivo' nelle applicazioni culturali ha dominato la maggioranza dei progetti, particolarmente negli anni '90. Ma è importante rimarcare che le potenzialità tecnologicamente e cognitivamente più interessanti sono tuttora in gran parte inespresse: interattività, eventi, comportamenti, multiutenza, immersività. In buona sostanza la vera rivoluzione (intendendo con questo termine l'affermazione di un fenomeno massicciamente distribuito) della realtà virtuale deve ancora avere inizio o sta per cominciare.

Premesse

Le applicazioni di realtà virtuale in archeologia, particolarmente a partire dagli anni '90, si sono prevalentemente, se non esclusivamente, indirizzate alla ricostruzione e visualizzazione interattiva grafica, geometrica e architettonica di reperti, siti, città, insediamenti. Tali ricostruzioni erano per lo più motivate da finalità didattico-educative, in cui senza dubbio dominava l'aspetto evocativo-comunicativo rispetto a quello informativo-spaziale. In sostanza le ricostruzioni prevedevano un'interazione passiva con i modelli archeologici tipicamente di tipo *walkthrough*, soprattutto nel caso di monumenti e di tipo *flythrough*, nel caso di paesaggi e contesti territoriali; le interazioni risultavano nella maggior parte dei casi prive di un sistema informativo (banche dati, tematismi, rilievi *in situ*, analisi comparative, ecc.) che giustificasse la ricostruzione e la connettività dei dati. Dunque in questi modelli prevaleva la descrizione formale della ricostruzione rispetto a una sostanziale riproduzione del contesto spaziale-informativo (descrizione semantica-sintattica). L'importanza di un sistema informativo spaziale associato a un modello virtuale rappresenta la base di ogni acquisizione cognitiva e, di fatto, incrementa notevolmente l'intelligibilità della rappresentazione geometrica e di tutti gli elementi inter-connessi.

Nel 1998, durante il *CAA'98* (*Computer Applications in Archaeology*), a Barcellona, è stata dedicata un'intera sessione congressuale e un festival cinematografico-digitale sul tema dell'archeologia virtuale, *Virtual Archaeology*, (co-organizzato dallo scrivente e da J. Barceló) con la presentazione di oltre sessanta applicazioni/ricostruzioni virtuali archeologiche provenienti da trenta paesi. Tra queste realizzazioni, le vere e proprie applicazioni di realtà virtuale erano tutte concentrate su workstation di fascia alta. Ad esempio le ricostruzioni della tomba di Nefertari, del Colosseo, della Basilica di San Pietro, prodotte da Infobyte su ONYX 2 Silicon Graphics, la grotta di Lascaux realizzata da B. Britton su stazioni Intergraph (personal workstation). Questa fase di *Virtual Archaeology* è stata pertanto caratterizzata, a livello internazionale, da un impiego intensivo di hardware molto performante ma non di software dedicato (salvo rari casi, quali il VeX Virtual Exhibitor di Infobyte per sistemi operativi Unix).

Da queste premesse risulta evidente che lo spazio virtuale, nella dimensione archeologica, deve essere contestualizzato e ristrutturato gerarchicamente in modo da permettere di identificare nella geometria dei modelli le unità logiche dell'informazione; teoricamente si dovrebbe 'smontare' e 'rimontare' il contesto per verificarne appieno l'im-

pianto geometrico e funzionale.

I principali ambienti di realtà virtuale classificabili in base all'interfaccia, e alle modalità di interazione sono i seguenti.

- DVR (Desktop Virtual Reality), le applicazioni monoutente su PC o personal workstation (fascia bassa) create su librerie grafiche OpenGL (vedi oltre).
- Ambienti semi-immersivi collettivi a visione stereo tipo Virtual Theater[12] o Vision stations[13]. Il teatro virtuale consiste di uno schermo stereo a emiciclo che abbraccia una stanza che può ospitare da 15 a 30 persone che fruiscono delle immagini virtuali attraverso occhiali stereoscopici. L'esperienza semi-immersiva è integrata in un sistema audio 3D *surrounding*. La fruizione collettiva e stereo dell'ambiente permette un alto livello di interazione cognitiva con i modelli grafici, pur mantendendo un contatto visivo con la realtà circostante (fascia alta).
- Ambienti immersivi collettivi a visione stereo tipo *cave*. La *cave* è un ambiente totalmente immersivo, tipicamente una stanza quadrangolare, in cui le pareti sono costituite da schermi di proiezione stereoscopica su tre o quattro lati. Gli utenti percepiscono quindi attraverso occhiali stereo soltanto l'ambiente virtuale costruito dalle proiezioni immersive dei display che si sostituiscono *in toto* alla realtà fisica (fascia alta).

Il progetto DVR Archaeology del CNR

La documentazione tematica, didattica, tecnica e scientifica che afferisce a un monumento, a un sito o a un contesto archeologico è di tipo eterogeneo sia per qualità che per quantità di informazione. Durante il workshop GraDoc (Graphic Documentation Systems in Mural Paintings Conservation), nel dicembre del 2000[14], è stata organizzata al CNR-Area della Ricerca di Roma una giornata dedicata alle tecnologie digitali, con riferimento ai sistemi informativi, alla fotogrammetria e ad alcuni aspetti del virtuale in relazione ai problemi della conservazione e della documentazione grafica. In quella occasione si è avviata una importante discussione metodologica sulla standardizzazione di metodi di acquisizione, sulle tecniche digitali di archiviazione e documentazione, sui nuovi sistemi di gestione multidimensionale di dati spaziali. In particolare gli articoli di Zehnder e Piqué[15] hanno riassunto assai bene le sequenze metodologiche ed operative connesse all'analisi del degrado ed alla programmazione della conservazione.

Nella tabella riportata da Zehnder[16] si può leggere il manifesto della filosofia operativa della conservazione e metodi affini (tab. 1).

Come si evince da questa sequenza metodologica le diverse azioni operative si integrano complessivamente nella spazialità del contesto informativo; lo spazio concettuale è il contesto. La riproducibilità del contesto informativo e la gestione generale della documentazione, data la notevole dissemminazione di azioni e di dati, avviene secondo una logica operativa molto complessa e non riproducibile in un ambiente reale, ma lo può essere in un ambiente virtuale.

Nel corso di GraDoc, lo scrivente, in collaborazione con la società Treerre di Roma, ha presentato i primi risultati di un lavoro di rilievo e visualiz-

Tabella 1
Basics steps in monument preservation

Recognize the physical object, its material and structures	Materials assessment
Assess the state of preservation	Damage assessment
Recognize and monitor the decay and its evolution	Damage diagnosis
Evaluate the present and future risks	Risk evaluation
Deduce the interactions for conservation	Conservation strategy
Execute the necessary measures	Conservation measures
Monitor further evolution	Control of success
Continue and improve maintenance	Maintenance and care

zazione tridimensionale relativo alla cosiddetta 'Tomba del Cristo Sole' o 'Mausoleo M' della necropoli vaticana[17]. L'esperimento sulla Tomba del Cristo Sole era focalizzato sulla costruzione di un sistema informativo tridimensionale associato al modello e ai tematismi relativi alla documentazione archeometrica e storico-artistica, utilizzando software GIS.

In casi come questi, l'unica possibilità di poter accedere contemporaneamente a dati e sequenze operative complesse è la ricostruzione dell'intero contesto di afferenza attraverso tecnologie di realtà virtuale inter-connesse ad un sistema informativo dedicato e spazialmente integrato. Un dato archeologico o archeometrico privo di attributi spaziali perde di rilevanza cognitiva e, appunto, di connettività rispetto al contesto di appartenenza. La spazialità del dato è un fattore prioritario nella conoscenza, nell'interpretazione e nella fruizione di un contesto archeologico (manufatto, artefatto o territorio): per questa ragione è di fondamentale importanza l'accesso a dati spaziali sulla base di una modellazione e di un'interfaccia grafica tridimensionale in grado di ospitare tutte le informazioni esperibili dal contesto o da macro-contesti. La fruizione del dato archeologico o archeometrico in ambito digitale deve forzatamente percorrere un processo di ri-contestualizzazione cognitiva e spaziale, rialfabetizzando l'utente secondo le più avanzate metafore dei linguaggi visuali e simbolici della programmazione.

In base anche a queste premesse è stato avviato all'Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali del CNR uno specifico programma di ricerca denominato DVR (*Desktop Virtual Reality*) Archaeology[18], che, tradotto letteralmente, significa 'realtà virtuale da scrivania', dunque alla portata di personal computer. Il programma di ricerca mira a costruire applicazioni di realtà virtuale principalmente per PC e personal workstation, cioè hardware a basso costo ma ad alte prestazioni.

Il DVR è l'ambiente di interazione di fascia 'bassa', programmabile per PC e personal workstation equipaggiati con schede grafiche OpenGL (vedi oltre). Il grande vantaggio del DVR è che gli oneri di rendering grafico in *real time* si appoggiano direttamente al chip della scheda grafica e non alla CPU del computer; in questo modo, è possibile ottenere applicazioni di realtà virtuale facilmente distribuibili su hardware performante ma a costi molto contenuti.

Nell'ambito delle applicazioni di realtà virtuale la fruizione dei dati rappresenta senza dubbio il problema centrale, per altro non risolvibile con una standardizzazione assoluta dell'ambiente di interazione. La fruizione digitale infatti dipende da molteplici fattori: tipo di applicazione, tipo di interazione (qualitativa e quantitativa), elaborazione cognitiva, spazio e luogo dell'installazione.

Le finalità scientifiche, comunicative e didattiche di un progetto DVR si possono riassumere nei seguenti punti:

- progettazione di interfacce 3D applicate alla connessione interattiva di banche dati multidisciplinari (archeologici, architettonici, archeometrici, iconografici, ecc.);
- interazione, comunicazione e fruizione scientifica distribuita (per ora monoutente);
- progettazione e creazione software per ambienti virtuali di tipo DVR con applicazioni costruite e distribuibili per piattaforme hardware a basso costo (personal workstation con schede grafiche OpenGL);
- interazione, comunicazione e fruizione didattico-scientifica locale (collettiva);
- progettazione e interfaccia di programmazione per ambienti collettivi tipo teatro virtuale o mini-*cave* da installare localmente (ad esempio in prossimità delle aree archeologiche, oppure in remoto).

Il caso di studio DVR Casa dei Vettii

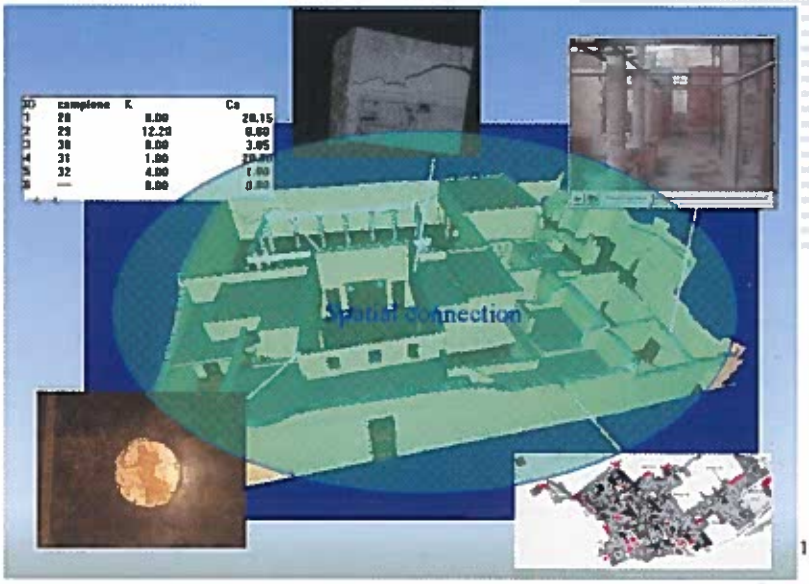
Sulla base di una fattiva collaborazione tecnica e scientifica con l'Istituto Centrale per il Restauro[19]

Fig. 1
Illustrazione schematica dei progetti DVR: tutte le informazioni sono contestualizzate in tre dimensioni attraverso uno spazio visuale.

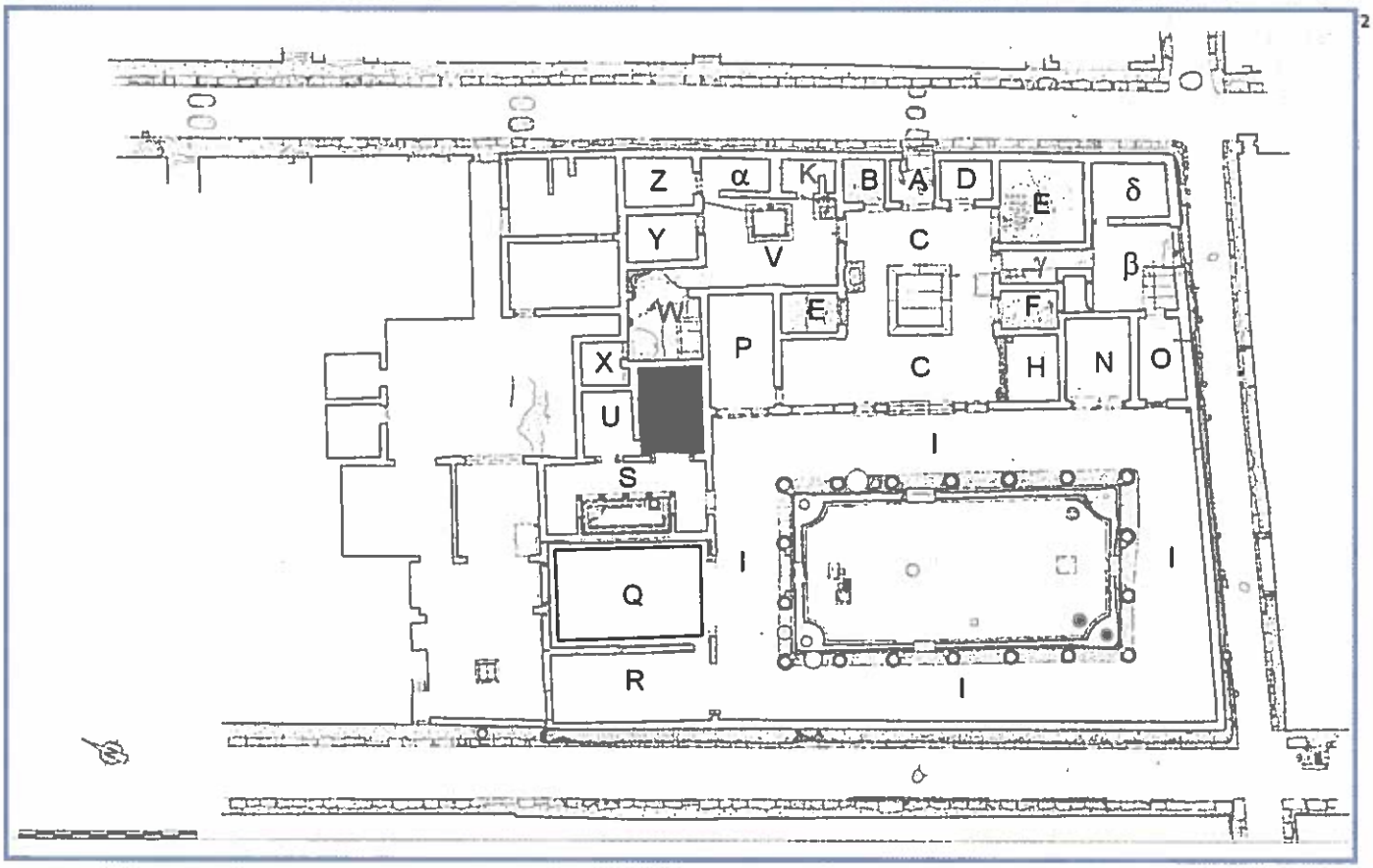
Fig. 2
Planimetria della Casa dei Vettii (Pompei): in grigio scuro l'ambiente T da cui si è partiti per un progetto di fattibilità nell'ottica DVR.

come primo caso di studio DVR è stata scelta la Casa dei Vettii di Pompei (ricerca ancora *in progress*). Questo caso di studio presenta le problematiche ideali per un progetto di ricerca quale il DVR. La Casa dei Vettii infatti versa in condizioni critiche di conservazione e questo comporterà, fra l'altro, la chiusura parziale e totale del complesso in periodi differenti, compromettendone la fruizione *in situ*. Inoltre il monumento, già soggetto a intensi restauri negli ultimi anni, accorpa una base informativa di documentazione davvero notevole di tipo archeologico, di tipo storico-artistico e di tipo archeometrico-scientifico (scavi precedenti, banche dati ICR, documentazione storica e di archivio).

Per la Casa dei Vettii si prevede la ricostruzione di ambienti tridimensionali che fungono da inter-



1



2

Fig. 3
Lo scanner laser Vivid 900 Minolta durante una sessione di lavoro.

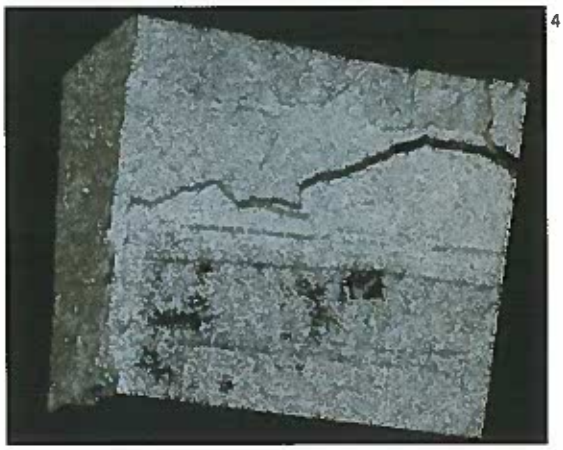


Fig. 4
Riproduzione volumetrica di una parete dell'ambiente H della Casa dei Vettii, ottenuta mediante scanner laser (modello in corso di elaborazione).

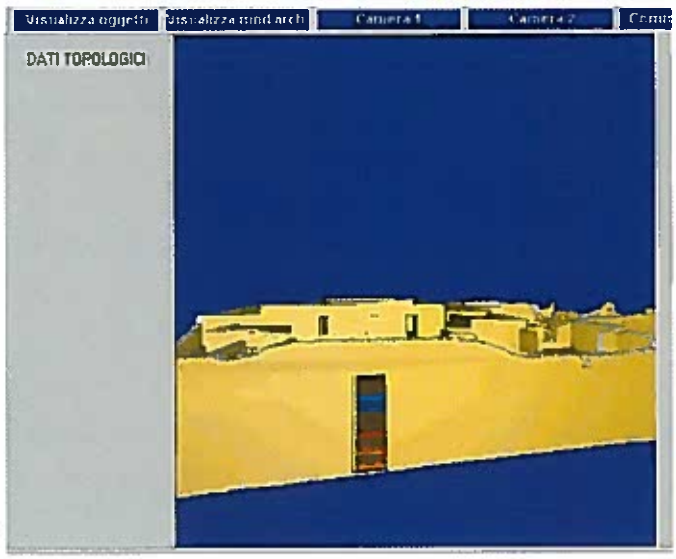


Fig. 5
Modello tridimensionale della Casa dei Vettii ricostruito con tecniche fotogrammetriche e navigabile attraverso una interfaccia grafica DVR.

faccia e da contesto principale per connettere informazioni di tipo geometrico (architetture, decorazioni, superfici) con database ed informazioni multimediali (documentazione storica, analisi chimiche, fisiche ed archeometriche sui materiali, filmati, ecc.). Lo scopo ultimo quindi non è la ricostruzione virtuale e tridimensionale del monumento, cioè 'come era' in antico, ma 'come è diventato', ovvero quale evoluzione e trasformazione ha subito un manufatto nel corso del tempo, seguendone il monitoraggio del degrado, gli interventi di restauro, le alterazioni strutturali e via dicendo.

Il software che si intende creare per la Casa dei Vettii (di cui esiste già una versione prototipale al CNR-ITABC) non è un vero e proprio GIS (infatti non è un prodotto commerciale, e non include le tipiche funzioni GIS), ma un software appositamente scritto in OpenGL per permettere un'interazione tridimensionale in tempo reale con ambienti virtuali.

OpenGL

L'OpenGL è una libreria grafica composta da circa 250 funzioni (o istruzioni). Potremmo dire che il sofware OpenGL pilota e gestisce le applicazioni hardware del computer senza passare dal processore, quindi accelerando notevolmente le prestazioni. Infatti, questa architettura software consente di sfruttare le potenzialità di accelerazione grafica della scheda video (hardware) in modo da gestire complessi contesti grafici 2D o 3D in tempo reale. La fluidità del movimento che si raggiunge risulta di gran lunga superiore a quanto si potrebbe ottenere attraverso il calcolo del solo processore.

Nell'applicazione relativa alla Casa dei Vettii l'ambiente tridimensionale in OpenGL rappresenta l'interfaccia principale del sistema informativo che diventa fruibile secondo molteplici livelli gerarchici e tematici. In sostanza l'obiettivo fondamentale consiste nel gestire dati geometrici e non in un unico sistema spaziale e con differenti livelli di dettaglio.

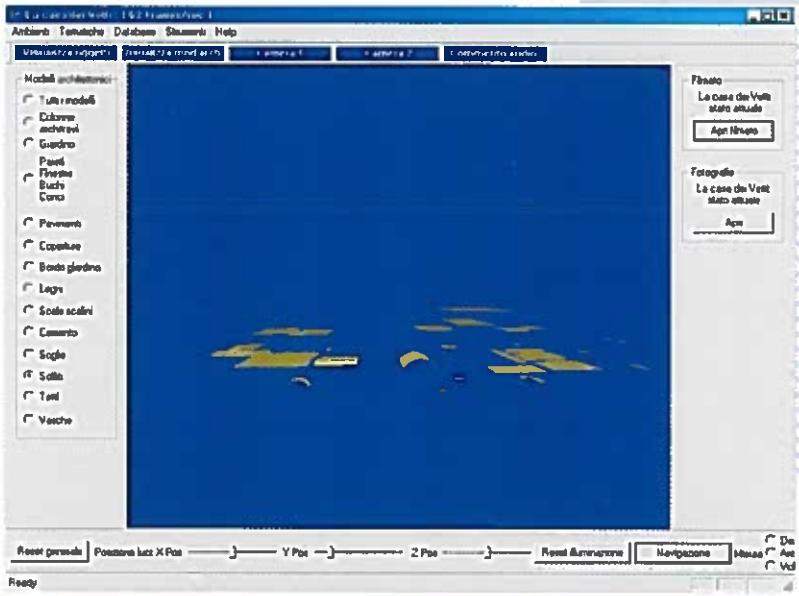
L'utente può selezionare diversi contesti tridi-

mensionali in modo tematico: ad esempio, le fondazioni, i muri, le coperture, le strutture perimetrali, il monumento nel suo insieme, con livelli di precisione geometrica e di dettaglio visivo sempre maggiori. Di un contesto 3D possono anche essere proposte differenti versioni o simulazioni ipotetiche, oppure si può scegliere di visualizzare solo alcune tipologie di elementi architettonici, smontando analiticamente il modello e poi rimontandolo per incrementarne il potenziale cognitivo. Per potenziare ulteriormente questo processo di interpretazione razionale dei dati nello spazio sono previsti strumenti di controllo (un set di luci) e di misura (misura lineare, superficiale e volumetrica) che l'utente può gestire a piacimento in tempo reale.

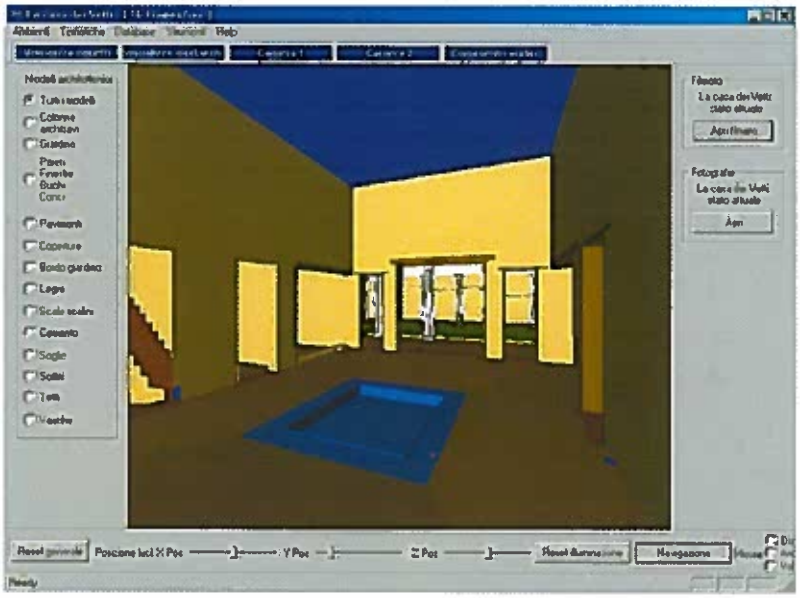
Inoltre una gran parte di approfondimenti tematici (ad es. tipologie di degrado e loro diffusione sul monumento) possono essere visualizzati cambiando in tempo reale le mappature del modello tridimensionale; anche i riferimenti iconografici comparativi possono essere spazializzati nel contesto 3D per ottenere un più facile e immediato confronto dei dati. Ai dati spaziali possono aggiungersi altri dati di tipo multimediale (filmati, fotografie, materiali d'archivio, schede, testi scritti o parlati, ecc) visualizzati in apposite finestre sovrapposte al contesto OpenGL senza tuttavia disattivarlo, per cui l'utente può porre continuamente in relazione questi approfondimenti con il contesto spaziale tridimensionale.

Altrettanto importante è la possibilità di creare un collegamento fra contesto 3D e database con un reciproco scambio di dati, ad esempio si può visualizzare il risultato di una interrogazione sul modello 3D e, viceversa, accedere dal contesto 3D ad una tabella del database.

Il risultato conclusivo è un complesso sistema informativo in cui tutti i dati si integrano in senso multidisciplinare; il processo di interpretazione e di apprendimento avviene secondo una modalità che è contemporaneamente percettivo-motoria (spazio tridimensionale di interazione in tempo reale) e



6



7

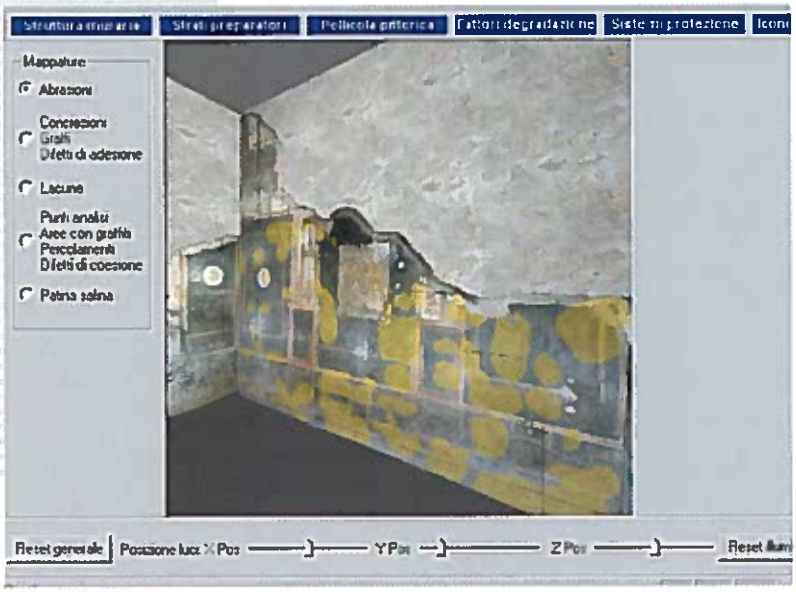
simbolica poichè questi dati nella realtà non sarebbero immediatamente esperibili essendo relativi alla ricostruzione analitica e scientifica del significato.

Questa metodologia, basata sulle potenzialità delle librerie grafiche OpenGL e su un'infrastruttura scritta in linguaggio C++, ha l'enorme vantaggio di integrare le metodologie di analisi e destrutturazione del bene culturale, alla sintesi interpretativa finale in cui tutti i dati possono essere ritradotti in una mappa mentale alfabetizzata.

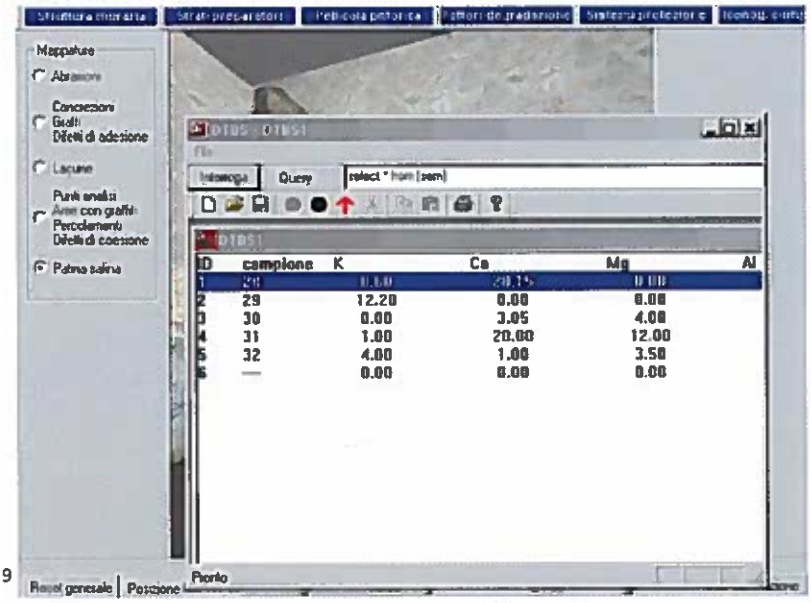
Per altro il progetto DVR può contare sui rilievi planimetrico-strutturali della Casa dei Vettii eseguiti, a partire dal 1997, mediante tecniche CAD e di

Fig. 6
Nella visualizzazione interattiva tridimensionale il modello della Casa dei Vettii è stato suddiviso per tematismi architettonici spaziali.

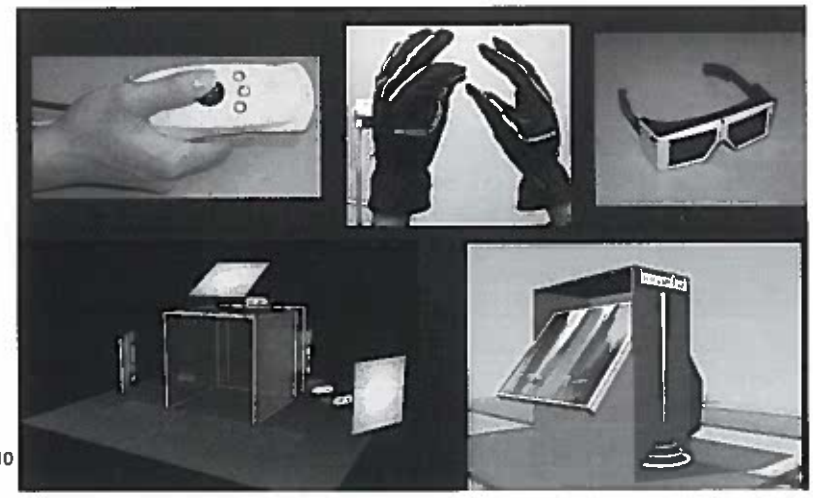
Fig. 7
Una navigazione virtuale all'interno del modello tridimensionale della Casa dei Vettii (work in progress).



8



9



10

fotogrammetria architettonica (planimetrie, sezioni, prospetti). Il lavoro sul campo sin qui effettuato ha contemplato:

- rilievo e modellazione 3D con stazioni totali laser EDM (cioè senza prisma riflettente, ma acquisendo i dati riflettendo il laser direttamente dalle strutture) per l'ambiente T;
- disegno vettoriale delle superfici decorate (secondo la topologia delle pareti) per lo stesso ambiente.

Il modello spaziale che sarà realizzato al termine del progetto rappresenta un sistema gerarchico di contesti informativi architettonici (che descrivono le geometrie) e archeometrici (che descrivono i materiali). La ri-combinazione di tutte le fonti documentarie, storiche e spaziali in un sistema informativo monumentale, come in questo caso, apre nuove prospettive sia per la ricerca scientifica che per la fruizione dei beni culturali secondo interfacce di navigazione interamente tridimensionali.

Conclusioni

L'attività che mira alla conoscenza, al monitoraggio, al restauro ed alla conservazione di un contesto archeologico genera un flusso informativo molto cospicuo e diacronico. La maggior parte delle informazioni però sono *disiecta membra*, oggetti decontestualizzati dal proprio insieme spaziale, quindi in parte o *in toto* inaccessibili. La connettività-reticolarità di tutti questi dati spaziali riproducibile virtualmente incrementa considerevolmente la percezione del contesto e la qualità delle componenti informative. La creazione di sistemi di visualizzazione e contestualizzazione spaziale tridimensionale attraverso sistemi di realtà virtuale apre quindi nuove e interessanti prospettive di comunicazione e interazione cognitiva, volte al recupero dei dati connessi e spazialmente integrati. Un dato archeologico o archeometrico privo di attributi spaziali perde di rilevanza cognitiva e, appunto, di connettività rispetto al contesto di appartenenza.

La spazialità del dato è un fattore prioritario nella conoscenza, nell'interpretazione e nella frui-

zione di un contesto archeologico (manufatto, artefatto o territorio): per questa ragione è di fondamentale importanza l'accesso a dati spaziali sulla base di una modellazione e di un'interfaccia grafica tridimensionale in grado di ospitare tutte le informazioni esperibili dal contesto o da macro-contesti. La fruizione del dato archeologico in ambito digitale deve forzatamente percorrere un processo di ricontestualizzazione cognitiva e spaziale, rialfabetizzando l'utente secondo le più avanzate metafore dei linguaggi visuali e simbolici della programmazione.

Il progetto DVR Archaeology si propone quindi la progettazione di ambienti e interfacce multirisoluzione di realtà virtuale applicati a contesti archeologici spaziali. Le finalità scientifiche, comunicative e didattiche del progetto si possono riassumere nei seguenti punti:

- progettazione di interfacce 3D applicate alla connessione interattiva di banche dati multidisciplinari (archeologici, architettonici, archeometrici, iconografici, ecc.);
- interazione, comunicazione e fruizione scientifica distribuita (per ora monoutente). Progettazione e creazione software per ambienti virtuali di tipo DVR con applicazioni costruite e distribuibili per piattaforme hardware a basso costo (personal workstation con schede grafiche OpenGL, 32-64 VRAM);
- interazione, comunicazione e fruizione didattico-scientifica locale (collettiva). Progettazione e interfaccia di programmazione per ambienti collettivi tipo teatro virtuale o mini-*cave* da installare localmente (ad esempio in prossimità delle aree archeologiche, oppure in remoto);
- sviluppo e applicazione dell'intero progetto al contesto della Casa dei Vettii (Pompei) come prototipo successivamente estendibile ad altri casi di studio.

Note

[1] G. Bateson, *Mente e Natura*, Milano 1984.

[2] H. Rheingold, *La realtà virtuale*, Bologna 1993.

[3] B. Wooley, *Mondi virtuali*, Bollati Boringhieri, Milano, 1993.

[4] P. Levy, *Il virtuale*, Milano 1997; v. anche *Finzione e realtà del mondo virtuale*, "Telèma", 1999, 16, <http://www.fub.it/telema/TELEMA16/telema16.html>.

[5] G. Bateson, *Mente e natura*, cit.; G. Bateson, *Verso un'ecologia della mente*, Milano 1976.

[6] R. Arnheim, *Il pensiero visivo. La percezione visiva come attività conoscitiva*, Torino 1974.

[7] Idem, p. 166.

[8] G. Bateson, *Mente e natura*, cit., p. 47.

[9] M. Forte, *About virtual archaeology: disorders, cognitive interactions and virtuality*, in J. Barcelo, M. Forte, D. Sanders (a cura di), *Virtual Realityin Archaeology*, Oxford 2000, pp. 247-263; R. Beltrami, M. Forte, *A proposito di virtual archaeology: disordini, interazioni cognitive e virtualità*, "Archeologia e calcolatori", 2000, 11, pp. 237-300.

[10] J.A. Barceló, M. Forte, D.H. Sanders (a cura di), *op. cit.*; A. Bizzarro, M. Forte, A. Tilia, S. Tilia, *3-D Visual Information and GIS Technology for Documentation of Wall Paintings in the 'M' Sepulchre in the Vatican Necropolis*, in W. Schmid (a cura di), *GraDoc. Graphic Documentation Systems in Mural Painting Conservation*, Roma 2000; P. Levy, *Il virtuale*, cit.; W. Schmid (a cura di), *GraDoc...*, cit.

[11] Vedi <www.virtualheritage.org> ed anche <http://www.mlib.cnr.it/vhn/index.htm>.

[12] <http://www.cineca.it>.

[13] <http://www.elumens.com>.

[14] W. Schmid (a cura di), *GraDoc...*, cit.

[15] F. Piqué, *A protocol for graphic documentation*, in W. Schmid (a cura di), *GraDoc...*, cit., pp. 30-43.

[16] K. Zehnder, *Basic concepts for documentation*, in W. Schmid (a cura di), *GraDoc...*, cit., pp. 7-15.

[17] A. Bizzarro, M. Forte M., A. Tilia, S. Tilia, *op. cit.*

[18] Al progetto collaborano A. Bizzarro, A. Tilia, S. Tilia (Treerre s.a.s.), E. Pietroni, C. Rufa (Aracnet).

[19] Le elaborazioni grafiche riportate nel testo utilizzano immagini e informazioni provenienti dall'ICR (dottoressa Gabriella Prisco e architetto Maria Grazia Flamini) e dallo Studio Treerre sas. Si ringrazia inoltre la Minolta Italia per la preziosa collaborazione.

Fig. 8
L'ambiente T della Casa dei Vettii è ricostruito con tecniche fotogrammetriche ed è fruibile mediante tematismi archeometrici in DVR. Nel dettaglio sono mappate le aree relative all'abrasione della pellicola pittorica.

Fig. 9
Interrogazione dei database relativi alle analisi al microscopio elettronico delle pellicole pittoriche. I risultati delle interrogazioni del database sono tutti visualizzabili nello spazio tridimensionale.

Fig. 10
Alcune tecnologie di interazione con ambienti di realtà virtuale, dall'alto a sinistra: mouse tridimensionale, guanti con simulazione dei campi di forza, occhiali stereoscopici, cave (cubo con quattro display retroproiettati), Immersadesk (display orientabile per la visione stereoscopica).

DOSSIER

Giorgio Accardo

Modelli digitali 3D per la scultura

Tecnologia digitale e forma

La tecnologia digitale permette oggi operazioni che fino a pochi anni fa erano impensabili e la sua diffusione ha modificato il modo di fare in moltissimi campi di attività. Tra tutti è interessante considerare quello della produzione industriale, dove la recente disponibilità dei sistemi per il rilievo digitale tridimensionali (3D) degli oggetti e dei sistemi per la realizzazione rapida di prototipi, ha rivoluzionato tempi e modi di progettare, influendo su tutte le attività che precedono la produzione industriale di serie. *Reverse engineering, rapid prototyping*, realtà virtuale e modelli digitali 3D sono oggi parole chiave che governano il mondo della progettazione e dell'ingegneria ma sono convinto che, tra non molto, entreranno anche nel gergo corrente di chi opera nel mondo del restauro, della conservazione e della valorizzazione delle opere d'arte ed, in particolare, della scultura.

Il mondo delle opere d'arte vive infatti tra la dimensione 'immateriale' della forma e la dimensione fisica in cui la forma è stata 'materializzata': non si restaura l'opera d'arte ma la materia attraverso cui l'opera d'arte si manifesta e diventa percepibile. I processi di ingegneria inversa di cui parlerò sono basati sulla tecnologia digitale e permettono di passare indifferentemente dalla dimensione materiale dell'oggetto fisico alla dimensione 'immateriale' della sua forma e, viceversa, dal mondo immateriale delle idee a quello concreto della loro realizzazione, così come accade nella realtà astratta della matematica ed in quella fisica degli oggetti, dove la palla di biliardo non è la sfera ma solo l'oggetto che la materializza in una delle tante possibili forme.

L'esperienza condotta dal Laboratorio di fisica dell'ICR negli ultimi venti anni, mostra in particolare come il modello virtuale di una scultura, ottenuto attraverso un processo digitale di rilievo 3D, può essere utilmente impiegato per studiare le forme che le statue materializzano, e per sviluppare le soluzioni più adatte ai relativi problemi di documentazione, restauro e conservazione.

Quanto detto trova riscontro diretto nei risultati ottenuti per l'Efebo di Selinunte, per il Marco Aurelio del Campidoglio e della collezione Ludovisi in Roma, per i monumenti equestri realizzati dal Mochi a Piacenza, per l'Ercole Farnese e per la testa bronzea da Basilea, rispettivamente del museo archeologico di Napoli e di Reggio Calabria, per il Satiro danzante di Mazara del Vallo, per la Madonna del Sansovino, già nella Loggetta del Campanile di San Marco a Venezia, per l'Ara di Domizio Enobarbo e per moltissimi altri casi.

Il percorso metodologico che porta al modello digitale 3D di una statua ed alla realizzazione di una sua eventuale rappresentazione fisica trova anche riscontro nei principi di base che governano antichi procedimenti artigianali ma oggi può essere praticato in concreto solo tramite tecniche mutuabili dal settore industriale. In ogni caso, rimane schematicamente caratterizzato da due momenti operativi simmetrici:

- il rilievo geometrico della scultura considerata, allo scopo di ottenere la sua forma nella dimensione immateriale, modello digitale 3D (*reverse engineering*);

- la lavorazione del materiale che dalla dimensione astratta della forma porta alla realizzazione del corrispondente modello fisico o prototipo (*rapid prototyping*).

Di seguito saranno considerate le caratteristiche tecniche che distinguono i principali sistemi di rilievo e di lavorazione in relazione alla possibilità di applicare sistematicamente la tecnologia digitale per la costruzione dell'archivio numerico 3D della scultura ed ai relativi possibili usi per lo studio, il restauro e la conservazione delle statue oltre che per l'eventuale realizzazione di copie 'fedeli' tramite procedimento indiretto.

Ingegneria inversa e prototipi

Il termine *reverse engineering* (RE) è utilizzato per individuare quelle attività (compreso un programma per elaboratore) che, a partire da un determinato prodotto, mirano a identificare i principi, le leggi e le idee poste alla base dello stesso. In ambito industriale il processo è finalizzato alla 'riproduzione in forma virtuale' di un prodotto (componenti meccanici, inserti per stampi, parti di autoveicoli, oggetti, ecc.), al fine di poter sviluppare una variante, un perfezionamento o una riproduzione dello stesso prodotto.

I passi logici della tecnica sono l'acquisizione della forma di partenza, l'elaborazione elettronica, quindi la formazione del modello virtuale, utilizzando l'opportuna piattaforma HW/SW, la modifica tramite software, quindi la generazione dei disegni, la verifica del nuovo modello attraverso la visualizzazione, lo studio della sua immagine tridimensionale e la realizzazione dell'intero modello e/o delle parti modificate attraverso la prototipazione rapida. Gli effetti della metodologia si misurano soprattutto in termini di contrazione dei tempi di sviluppo delle modifiche, nella necessità, talvolta, di riprodurre dei pezzi in assenza dei disegni, o di verificare rapidamente la funzionalità delle modifiche apportate al modello originale. In definitiva il modello matematico viene sviluppato attraverso il riconoscimento elettronico-digitale del prodotto e può nascere anche da un modello fisico realizzato artigianalmente. Da qui il concetto di 'inversione del flusso logico' delle informazioni e delle attività di ingegneria inversa (*reverse engineering*).

Le metodologie di digitalizzazione 3D prevedono la ricostruzione virtuale dell'oggetto a partire da nuvole di punti ricavate tramite specifici sistemi di misura, che utilizzano o dispositivi meccanici a contatto con la superficie dell'oggetto, o dispositivi ottici senza contatto. Il sensore rappresenta in ogni caso il cuore del sistema di ricostruzione virtuale. I dati raccolti dal dispositivo sono le coordinate XYZ dei punti discreti che definiscono e rappresentano 'matematicamente' la forma dell'oggetto rilevato. Per lo più non sono utilizzabili direttamente da CAD usuali, ma devono essere gestiti da programmi di modellazione solida in grado di interpretare tali coordinate per generare una rappresentazione leggibile della superficie definita attraverso la rete di poligoni che collega i punti.

Allo stato attuale dell'arte il processo non è completamente automatizzato, ma spesso è l'esperienza e la conoscenza dell'operatore che contribuisce alla realizzazione di un'ottimale ricostruzione virtuale dell'oggetto campione, soprattutto se si tratta di forme non riconducibili a geometrie elementari.

Il termine *rapid prototyping* è utilizzato per individuare i processi di lavorazione automatica che, partendo dal modello virtuale, permettono di realizzare, in tempi molto contenuti, il corrispondente modello fisico o prototipo. Questi processi di lavorazione si possono distinguere tra quelli che procedono per asportazione di materiale, come fa lo scultore da un blocco di marmo, e quelli che procedono per aggiunta di materiale, come fa l'artista che modella l'argilla.

Proprio la possibilità di integrare il processo di rilievo con la realizzazione di un modello fisico ha permesso di inquadrare il percorso tecnologico complessivo di cui stiamo parlando, tra quelli utili

per realizzare la copia di una statua originale tramite metodo indiretto. Questa caratteristica, che è certamente necessaria per i casi in cui il calco diretto può essere dannoso per l'originale, tuttavia, ha portato a considerare questa eccezionale tecnologia innovativa come procedimento utile soltanto per realizzare copie, trascurando una serie infinita di possibilità, di gran lunga più interessanti per lo studio della 'forma' e per il restauro della scultura.

Tecniche ottiche coerenti

Le prime sperimentazioni di rilievo 3D della 'forma artistica' risalgono agli anni Settanta. In occasione del restauro dell'Efebo di Selinunte[1] il Laboratorio di fisica dell'ICR ha utilizzato l'olografia per analizzare gli effetti di antiche riparazioni, che avevano interessato il torso, il collo e le gambe della statua. Gli interventi, consistenti nella saldatura di fasce alte circa 4 cm al getto originario di fusione, avevano allungato la statua e modificato la torsione del busto e del collo. Gli ologrammi realizzati hanno permesso di sottrarre virtualmente le fasce di riparazione aggiunte e l'immagine tridimensionale, ottenuta tramite l'olografia, è servita per simulare ed osservare nella dimensione spaziale la forma originaria della statua, così come ipotizzata prima della sua riparazione. Allo stesso tempo i controlli delle sollecitazioni, eseguiti tramite interferometria olografica a doppia esposizione sul sistema di assemblaggio meccanico reversibile, ideato e realizzato da Alberto Di Maio, hanno permesso la ricomposizione dei frammenti, restituendo unità formale alla statua.

Il fronte d'onda luminoso diffuso dall'oggetto ricostruito dall'ologramma consente di rivedere l'oggetto 'olografato' nella dimensione spaziale, conferendo all'olografia caratteristiche più appropriate della fotografia classica per documentare gli oggetti tridimensionali. Pur essendo una tecnica ad elevatissima sensibilità per costruire modelli virtuali 3D con risoluzioni dell'ordine di grandezza della lunghezza d'onda impiegata, l'olografia non consentiva il trasferimento automatico dei dati dal sistema di rilievo a quello di post-processamento, dove possono essere effettuate le elaborazioni che, in pratica, rendono possibile l'uso del modello digitale 3D.

Fotogrammetria

L'applicazione del rilievo fotogrammetrico al monumento equestre del Marco Aurelio è stato il successivo passo per lo sviluppo della metodologia considerata. I primi rilievi fotogrammetrici di sculture iniziano già negli anni Sessanta ma il loro utilizzo resta limitato alla sola restituzione grafica del modellato secondo curve di livello, disegnate nei prospetti canonici utilizzati per descrivere la forma della scultura[2].

Con il Marco Aurelio per la prima volta per una statua di tali dimensioni, dal modellato così complesso e articolato, è stata sperimentata la possibilità di utilizzare il rilievo fotogrammetrico per realizzare modelli 3D virtuali e fisici. Ciò ha permesso tra l'altro di realizzare anche la copia del monumento, senza passare necessariamente attraverso il calco diretto, ma seguendo il nuovo procedimento indiretto, da me ideato e messo a punto all'inizio degli anni Ottanta[3].

Il metodo ripropone nella sostanza il principio delle linee d'acqua per definire il modellato di una statua[4] e si distingue da questa tecnica, che potremo chiamare 'idrogrammetrica', per gli strumenti adoperati, tra i quali troviamo la camera fotogrammetrica ed il calcolatore[5].

La prima versione del procedimento è stata sperimentata per costruire il modello 3D del cavallo, allo scopo di utilizzarlo nell'analisi del comportamento statico strutturale del monumento[6]. In questo modo potevano essere studiate e sperimentate le migliori tecniche di consolidamento su una 'cavia', il modello, senza pericolo di danneggiare l'originale[7].

Grazie al modello digitale 3D ed a quello fisico realizzato in scala 1:5, il problema della stabilità è

stato analizzato a fondo, proprio in considerazione delle numerose cricche, spesso passanti, distribuite su tutto il corpo del cavallo (fig. 1). Particolare preoccupazione destavano le lesioni presenti nella zampa anteriore sinistra, perché su di essa scarica la maggior parte del peso. L'idea di rimettere un puntello sotto la pancia del cavallo, sostenuta anche da specialisti in base al comune buon senso, non convinceva per niente e, prima di intervenire sull'originale con altri interventi irreversibili, si potevano provare soluzioni alternative sul 'modello/cavia'.

I moderni procedimenti di calcolo e di simulazione usati per progettare pezzi meccanici sono stati allora impiegati per analizzare anche le sollecitazioni meccaniche di un monumento equestre[8] (fig. 2). L'applicazione del metodo di calcolo agli elementi finiti tuttavia non è stata semplice a causa della forma geometrica, molto più complessa di qualsiasi altra struttura moderna, che doveva essere riconosciuta dal calcolatore. Ciò è stato possibile attraverso il modello numerico derivato dal rilievo stereofotogrammetrico della statua[9].

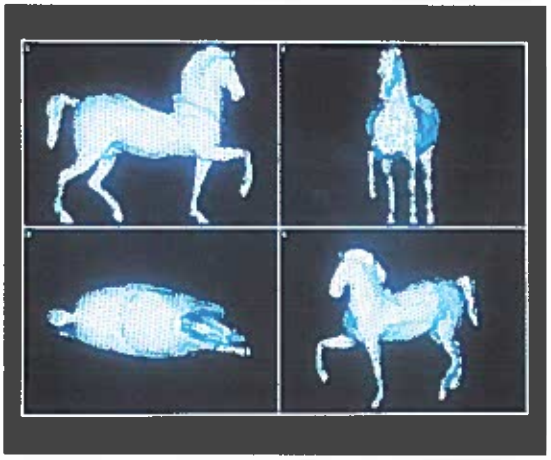
Nella seconda fase che caratterizza questa applicazione si procede infatti alla restituzione dei dati per rappresentare l'oggetto rilevato attraverso i valori numerici delle coordinate XYZ secondo curve di livello o piani quotati. Queste vengono prese allo stereorestitutore analitico sul modello ottico tridimensionale formato dalle stereocoppie dei fotogrammi acquisiti nella prima fase (rilievo).

La restituzione per curve di livello o piani quotati, ottenibile secondo piani ortogonali alla direzione dei tre assi di riferimento canonici, pone in realtà il problema di come individuare le linee di congiunzione dei sei prospetti: dove cambia il punto di vista si determina infatti la linea che ne segna il confine (alto, basso, avanti, retro, destra, sinistra). Per risolvere questo problema si è allora pensato di effettuare la restituzione per sezioni piane, perpendicolari ad un unico asse. In questo modo è stato eliminato alla radice il problema delle linee di giunzione tra i differenti punti di vista, ma

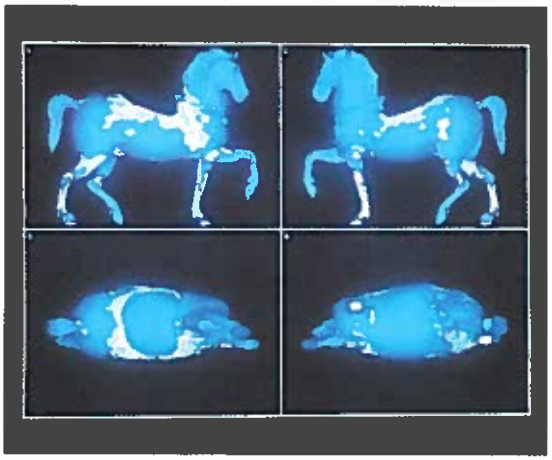
1a

1b

Fig. 1
a) Se si prova ad illuminare il cavallo dall'interno, molte cricche e lesioni presenti nella lega metallica sono evidenziate dai punti luminosi prodotti dalla luce che vi filtra attraverso.
b) Particolare della zona di congiunzione tra la zampa anteriore sinistra ed il corpo. In questo caso la maggior quantità di luce filtrata indica una lesione di notevoli dimensioni localizzata proprio dove le sollecitazioni meccaniche sono risultate più intense.



2a

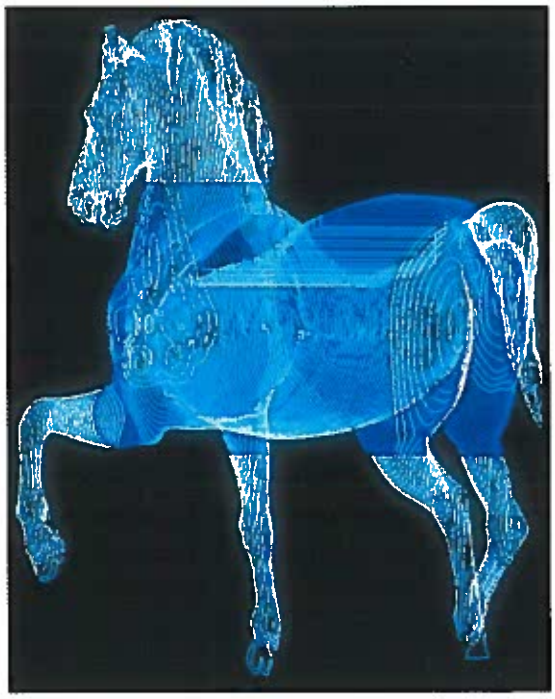


2b

Fig. 2
a) Il modello a elementi finiti sviluppato da Giovanni Santucci (Università di Roma 'La Sapienza', Dipartimento di Ingegneria e Aeronautica) per l'analisi del comportamento meccanico strutturale del cavallo.
b) La distribuzione degli sforzi determinata per effetto del peso proprio e del cavaliere evidenziata dal calcolo.

3a

3b



3c

Fig. 3
a) La ricostruzione prototipale del volto del Marco Aurelio mette in evidenza le linee di giunzione che si generano tra i prospetti se la restituzione fotogrammetrica è ottenuta per curve di livello.
b) Il modello 'fotogrammetrico' del Marco Aurelio ricostruito al calcolatore secondo sezioni orizzontali.
c) Il modello 'fotogrammetrico' del cavallo ricostruito al calcolatore secondo sezioni verticali.

si è dovuto scegliere rispetto a quale asse ottenere le sezioni (fig. 3).

Nell'occasione è stato eseguito anche il rilievo fotogrammetrico dell'interno della statua che ha permesso di conoscere le variazioni di spessore del getto di fusione.

In questo modo la forma del Marco Aurelio è stata trattata al calcolatore proprio come gli ingegneri fanno quando devono analizzare il comportamento di una struttura soggetta alla sollecitazione di un carico statico, o devono scegliere il materiale e calcolare le dimensioni che ogni singolo componente deve avere per progettare una struttura in grado di resistere a determinate sollecitazioni, come ad esempio sostenere un dato peso. Questo tipo di approccio ha fatto capire molte cose sulle vicende strutturali del Marco Aurelio[10]. Allo stesso tempo l'intervento è stato caratterizzato da qualità oggi irrinunciabili: minima invasività; massima reversibilità; possibilità di verificare e controllare nel tempo gli effetti dell'intervento.

Questo tipo di approccio ha permesso di valutare preventivamente la distribuzione e l'entità delle sollecitazioni causate dal peso del cavaliere e ha fatto capire che era sufficiente intervenire sulle modalità di vincolo degli zoccoli al basamento per rendere minime le deformazioni e le tensioni, senza ricorrere

necessariamente a puntelli esterni di sostegno[11].

Il procedimento messo a punto è servito anche per altri interventi conservativi effettuati su monumenti equestri simili per dimensione e modellato (ad esempio i gruppi equestri realizzati dal Mochi per Alessandro e Ranuccio Farnese), confermando la validità del metodo. Così in questi restauri, grazie ai modelli digitali 3D che hanno consentito di definire la forma geometrica dei monumenti equestri, si sono potuti realizzare interventi di consolidamento mirati, efficaci, controllabili nel tempo, non invasivi e reversibili.

Nuovi sistemi di rilievo digitale 3D

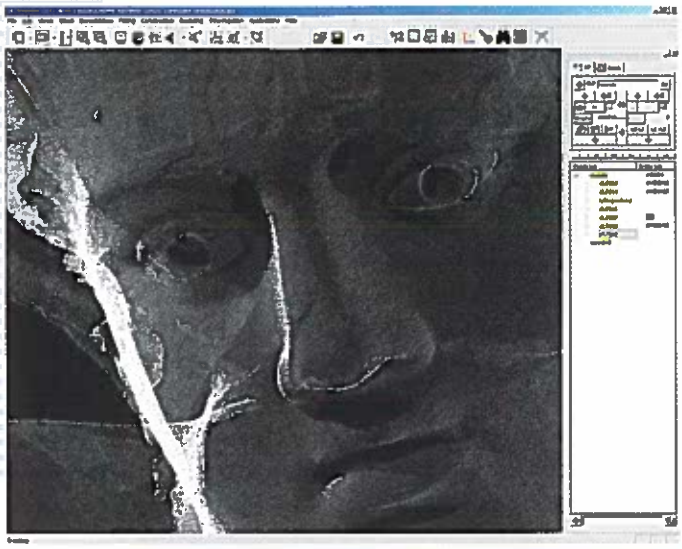
La disponibilità più recente dei sistemi a scansione laser, a luce strutturata ed a proiezione di frange (*contouring*) per il rilievo tridimensionale degli oggetti[12] (fig. 4) ha permesso di compiere ulteriori passi in avanti per la conservazione delle statue e, più in generale, per lo studio, il confronto e la memoria delle forme modellate o scolpite. Il modello digitale 3D di una scultura, ottenuto attraverso questi nuovi sistemi, unitamente alle caratteristiche sviluppate dai nuovi software per la modellazione solida, è caratterizzato da una risoluzione e definizione della superficie dell'ordine di 0,1 mm e, per piccole finestre di acquisizione, può arrivare fino a 0,01 mm. Rispetto alla fotogrammetria, i nuovi sistemi offrono una rapidità infinitamente più elevata per eseguire il rilievo e generare il corrispondente modello digitale, producendo in minor tempo un numero molto maggiore di punti per definire il modellato di una statua: 10.000.000 di punti, per una statua come il Satiro danzante, contro 1.000.000 di punti prodotti per l'intero monumento equestre del Marco Aurelio[13].

L'elevata risoluzione e precisione dei nuovi sistemi, il notevole numero di punti che vengono acquisiti per definire la forma unitamente alle specifiche caratteristiche messe a disposizione dai nuovi software di modellazione solida e di visualizzazione, hanno favorito una più diretta ed immediata utilizzazione di tali sistemi prospettando nuove ed interessanti soluzioni ai problemi di integrazione e ricomposizione che spesso si presentano nel restauro delle statue frammentate.

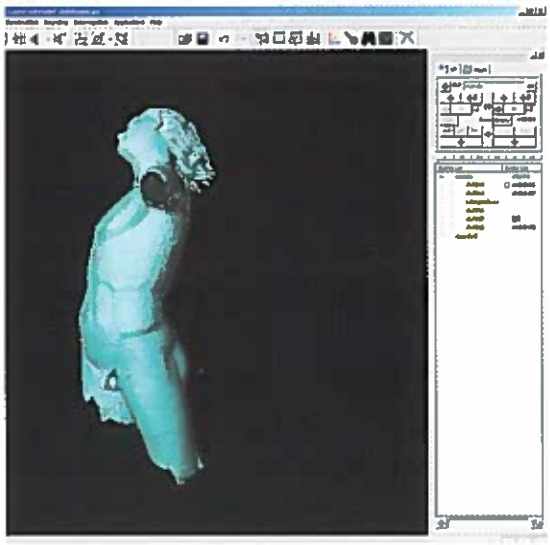
Fig. 4
Il sistema a scanner laser 3D utilizzato per la prima volta dalla Fox Bit di Napoli per il rilievo digitale 3D dell'Ercole Farnese (Museo Archeologico di Napoli 1997).

La possibilità di visualizzare immediatamente i risultati del rilievo su un monitor di computer e di operare virtualmente sulla statua, permette di analizzare meglio la soluzione più adatta a restituire unità formale all'opera, sia che il problema interessi la ricomposizione di frammenti o di una parte mancante, o anche di una intera scultura in un gruppo, o di più statue, separate dal gruppo e collocate in posti diversi.

La ricomposizione può, infatti, essere rappresentata virtualmente attraverso i modelli digitali tridimensionali e studiata prima ancora di essere materialmente realizzata. Grazie alle nuove tecniche di visualizzazione diventa più facile valutare le diverse ipotesi progettuali di intervento ed è possibile simulare e provare la ricomposizione dei frammenti, l'eventuale integrazione di parti mancanti[14]


5a

5b


5c

5d

5e

Fig. 5
Le nuvole di punti ottenute dal rilievo digitale 3D del Satiro danzante di Mazara del Vallo: particolari del volto (a) e della gamba sinistra (b).
Il modello digitale 3D (c) ottenuto attraverso la generazione della *mesh* poligonale in una vista laterale.
Il modello fisico (d) con la gamba sinistra ricomposta è stato realizzato dal modello digitale 3D attraverso un processo di lavorazione ad accrescimento di materiale, che permette di consolidare strati successivi di polvere di gesso: il modello è servito per studiare e progettare un sistema reversibile per la presentazione dell'originale e l'assemblaggio della gamba sinistra.
La gamba destra mancante, ottenuta dal modello digitale 3D attraverso un procedimento di *mirroring*, dopo la sua reintegrazione virtuale (e).

(fig. 5) come anche la ricomposizione di una statua in un gruppo[15] (fig. 6) o di un intero gruppo di statue[16] (fig. 7): la collocazione di ogni frammento e delle singole sculture può infatti essere visualizzata in qualsiasi posizione nello spazio ed essere osservata da qualsiasi punto di vista, prima della sua

Fig. 6
Il gruppo del Sansovino, collocato nella Loggetta del Campanile di San Marco in Venezia e composto dalla Madonna con bambino e San Giovannino, ritratto in una foto Alinari (a) prima del crollo del campanile (1912), in cui è andato perduto il San Giovannino. Rappresentazioni virtuali a confronto della Madonna con bambino senza (b) e con (c) San Giovannino all'interno della Loggetta del Campanile di San Marco.
Ipotesi di ricomposizione (d) del gruppo prospettata con un modello prototipale derivato dal rilievo digitale 3D della Madonna con bambino e dalla ricostruzione virtuale del San Giovannino, ottenuta in base alla foto Alinari.

definitiva attuazione.

Anche per questi sistemi, il percorso tecnologico che porta alla realizzazione del modello digitale 3D inizia con il rilievo geometrico della statua. In questa prima fase il sistema opera come avrebbe fatto Leon Battista Alberti con il *definitor*, per prendere le misure necessarie a ben operare nella scultura, ma il raggio del laser che viene inviato sulla superficie acquisisce milioni di coordinate. Sono le coordinate XYZ dei punti, le cosiddette nuvole di punti, che definiscono il modellato della statua nella porzione di superficie che si sta rilevando e che saranno utilizzate per generare il corrispondente modello numerico.

Il rilievo digitale completo viene in generale ottenuto da più punti di vista ma sempre rispetto ad un unico sistema di riferimento[17]. Questo permette

di riunire, nella fase successiva, le nuvole di punti, quando le coordinate, ottenute nelle differenti viste da cui è stata effettuata la scansione laser, vengono visualizzate e sono unite insieme per generare il modello 3D dell'intera statua. In questa fase si svolgono tutte le attività di elaborazione al calcolatore necessarie per ottenere il corrispondente modello numerico 3D. Questo può essere visualizzato in qualsiasi posizione nello spazio, dal punto di vista che si desidera o in cui serve effettuare l'osservazione; in questo modo è possibile vedere la statua anche da angolazione non permesse nella quotidiana realtà espositiva del museo.

La possibilità di attribuire una tessitura superficiale permette una rappresentazione del modello più o meno realistica perché, insieme all'andamento del modellato, è possibile proporre all'osservatore l'imitazione della patina superficiale dell'opera originale, una rappresentazione cromatica simbolica o anche simulare gli effetti dei possibili trattamenti della superficie (puliture, protettivi ecc.). Per ottenere questo tipo di visualizzazione è necessario generare prima la superficie attraverso l'interpolazione di tutti i punti ottenuti dal rilievo della scultura. A tale scopo vengono utilizzati algoritmi matematici complessi che consentono di generare la superficie attraverso la costruzione di poligoni elementari connessi: nei casi in studio sono state ottenute *mesh* poligonali triangolari[18] (fig. 8).

Attraverso lo *shading* di Gouraud è inoltre possibile visualizzare l'oggetto nascondendo le discontinuità generate dagli spigoli di giunzione dei poligoni e mostrando una superficie apparentemente continua. Analogamente a quanto avviene per l'elaborazione digitale delle immagini, il formato numerico del modello consente di effettuare operazioni virtuali di ingrandimento, di taglio, di confronto e soprattutto di spostamento e di rotazione della statua nello spazio, visualizzando il risultato delle operazioni.

Questa potenzialità è di grande interesse tutte le volte che si deve procedere nella ricomposizione di frammenti e/o di parti mancanti.

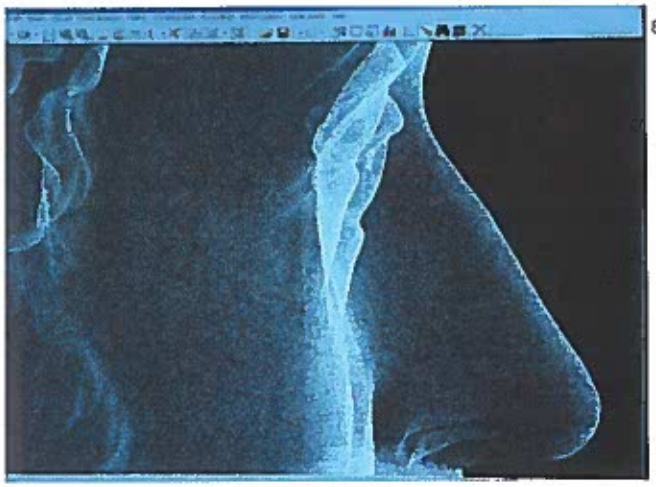
Fig. 7
Rappresentazione di due delle possibili ipotesi di ricomposizione dell'Ara di Domizio Enobarbo.

Copia o rappresentazione: il caso del Marco Aurelio

Ricordati che ciascuno vive questo istante ch'è presente; tutto il resto è vita trascorsa o incerta.
In conseguenza, piccolo è il tempo in cui vive ciascuno; piccolo il ristretto angolo della terra ove ciascuno continua a vivere; e piccola la fama presso i posteri, sia anche una fama assai lunga.

Marco Aurelio

Come per il Marco Aurelio del Campidoglio, gli stessi dati numerici possono essere utilizzati per costruire anche modelli fisici nella scala dimensionale desiderata, consentendo un riscontro materiale della 'pura forma'. Nel caso sfortunato in cui si dovesse verificare un evento dannoso con conseguente perdita parziale o totale del manufatto se il modello fisico viene costruito nella stessa scala dell'originale può essere utilizzato per realizzare un 'modello' conforme all'originale dell'intera statua o delle sole parti perdute. Il termine modello non è



8a

8b

Fig. 8
a) Le 'nuvole' di punti riunite per formare il modello numerico 3D del Marco Aurelio della collezione Ludovisi in Palazzo Altemps.
b) Campione della superficie ottenuta attraverso la generazione e l'unione dei poligoni triangolari.

usato casualmente perché contraddistingue il manufatto che può essere realizzato attraverso questo procedimento, da quello che si ottiene quando si vuole realizzare una copia da calco diretto.

Al fine di mantenere la memoria della forma, il rilievo digitale 3D è un'interessante alternativa al calco diretto perché non implica necessariamente la realizzazione della copia. Questa può essere rinviata ad un momento successivo, per essere realizzata solo nel caso sfortunato in cui fosse richiesta da ragioni conservative, dalla perdita parziale o totale dell'originale. Inoltre, il modello digitale può essere utilizzato per costruire modelli fisici a scopo di studio o anche per ottenere una rappresentazione coerente dell'originale al posto della copia.

A tale scopo la sperimentazione del Laboratorio di fisica è stata rivolta anche alla costruzione di modelli/prototipi in scala ridotta ed in scala 1:1, tramite lavorazioni automatiche a sottrazione o ad accrescimento di materiale. La realizzazione di modelli fisici è indispensabile per verificare la bontà dei modelli numerici e per valutare concretamente, non soltanto virtualmente, la soluzione prospettata dalla dimensione immateriale delle entità.

Nella sperimentazione effettuata sono stati realizzati modelli al vero tramite fresatura e taglio laser a controllo numerico[19], tramite tecnica stereolitografica (fig. 9) che prevede la solidificazione di una resina liquida per strati successivi dello spessore di 0,1 mm e modelli in scala ridotta tramite una tecnica di lavorazione altrettanto innovativa, che prevede la solidificazione di polvere (amido o gesso) per strati successivi dello spessore di 0,07 mm.

Anche nella tecnica di lavorazione ritorna ancora una volta il principio delle 'linee d'acqua', della scansione per profili, sezioni o strati successivi.

Del Marco Aurelio esistono un'infinità di bronzetti e copie[20], differenti per materiale, dimensioni e genere, tra cui consideriamo in particolare il mezzo busto, appartenente alla collezione Ludovisi, oggi in palazzo Altemps. La necessità di restituire questa copia alla sala del Consiglio dei Ministri è stata una curiosa occasione per realizzare la copia di una copia seicentesca e per sperimentare il procedimento indiretto a partire dal rilievo digitale 3D ottenuto tramite il sistema a scansione laser. Questo ha permesso di mettere a confronto i modelli digitali e le copie provenienti da differenti procedimenti diretti e indiretti (fig. 10)[21].

Dopo l'esplosione della bomba in Campidoglio (1979), Giulio Carlo Argan, allora sindaco di Roma, era favorevole all'idea di realizzare subito una copia del Marco Aurelio per sostituire l'originale, che a breve sarebbe stato rimosso per il restauro, e per evitare i rischi di nuove possibili azioni vandaliche o terroristiche. Ma una decisione in merito non è

9

Fig. 9
Il prototipo stereolitografico del Marco Aurelio della collezione Ludovisi utilizzato come modello intermedio per realizzare la fusione in bronzo secondo la tecnica tradizionale della cera persa.

Fig 10
Confronto tra le copie in bronzo del Marco Aurelio ottenute con differenti procedimenti.

stata mai presa né allora né in seguito: la sostituzione di un'opera d'arte con una sua copia è infatti operazione molto controversa, da evitare per principio, ed esistono infinite ragioni per essere fonte di accesa polemica.

La necessità di realizzare la copia è emersa in concreto, dopo aver misurato il grave stato di degrado del bronzo, dopo aver verificato l'inefficienza dei film protettivi a disposizione, quando la copia, in altre parole, è stata ritenuta l'unica soluzione possibile per proteggere la superficie dorata dall'inquinamento e per colmare la grave lacuna determinata dalla mancanza dell'originale sulla piazza del Campidoglio.

Dopo aver verificata ed esclusa la possibilità di utilizzare una delle tante copie esistenti, per evitare all'originale gli ulteriori danni che potevano derivare da un calco diretto eseguito tramite resine siliconiche (fig. 11) si è allora pensato di procedere con metodo indiretto, utilizzando il modello digitale della fotogrammetria[22].

Se si è d'accordo con Cesare Brandi che «le copie si fanno e si conservano per studio e solo allora sono legittime perché una copia non può sostituire l'originale, semplicemente l'affievolisce e fa scadere il tenore qualitativo del luogo dove viene posta», nel caso del Marco Aurelio non bisogna dimenticare che Brandi sostiene anche che «... non si dovrà mai rimettere un'opera d'arte restaurata nel luogo originario, se il restauro fu occasionato dallo stato termoigrometrico del luogo ... e se il luogo non avrà subito interventi tali (risanamento, climatizzazione ecc.) che garantiscano la conservazione e la salvaguardia dell'opera d'arte restaurata»[23] perché sono proprio questi i motivi che hanno portato

10

Fig. 11
L'oro del Marco Aurelio staccato nel corso di una prova di calco diretto.

al restauro del famoso monumento, che impediscono di ricollocare il monumento restaurato al suo posto e hanno causato una insopportabile lacuna nel disegno di Michelangelo della famosa piazza.

Se il restauro è riuscito a recuperare l'eccezionale potenziale estetico di questo singolare monumento, l'irreversibilità dei gravi processi di degrado subiti dal materiale hanno impedito ed impediscono il ritorno allo stato di conservazione iniziale, anche se il restauro ha comunque permesso di rallentare o inibire momentaneamente i differenti meccanismi di degrado. Con grande dispiacere di tutti quelli che vogliono l'originale ricollocato sul basamento di Michelangelo ma anche di quelli cui sta a cuore prima di tutto la sua salvezza, il Marco Aurelio autentico non poteva e non può essere ricollocato al suo posto perché questo condurrebbe il monumento ad essere condannato in breve tempo alla distruzione certa.

Nonostante il problema fosse stato analizzato ed evidenziato sulla base di dati scientificamente acquisiti nel corso del restauro, una sperimentazione approfondita e sistematica finalizzata alla ricerca di idonee soluzioni è stata sempre ostacolata, impedendo qualsiasi ragionevole decisione nella consapevolezza delle sue conseguenze. La copia del monumento che alla fine è stata messa al posto dell'originale (fig. 12) come ho già detto è il risultato di una non decisione, ovvero di una decisione che non è stata mai presa, né a favore della ricollocazione dell'originale, né della sua sostituzione, né in merito a come si sarebbe dovuto procedere per realizzare l'eventuale copia[24]. Anche su questo aspetto esistevano infatti possibilità ed opinioni differenti.

Alessandra Melucco Vaccaro, direttrice del restauro, che all'inizio proponeva il calco diretto, ha in seguito sostenuto il procedimento a compasso perché il metodo fotogrammetrico da me proposto «... che ha, è vero, il vantaggio di evitare la copia a contatto, non consente di ottenere una copia fedele. Del resto ciò è comprensibile data la complessa articolazione dei volumi della statua, soprattutto del cavaliere. Una alternativa valida potrebbe essere la copia per punti, come si usava in antico. Questo è un metodo piuttosto complesso, ma fortunatamente ci sono ancora degli specialisti, anche se ben pochi»[25].

L'epilogo della vicenda è rappresentato dalla soluzione di fatto adottata e che oggi tutti possono vedere esposta nella piazza del Campidoglio.

Sono convinto, però, che questa soluzione si configuri in realtà come 'un'occasione mancata' per dare un contributo innovativo e coerente alla soluzione di un problema così complesso. La patina scelta da cui deriva l'aspetto finale della copia non dipende dal procedimento indiretto seguito per ottenere il modellato della copia perché se si optasse per quel tipo di patina l'aspetto sarebbe lo stesso anche se la copia fosse realizzata da un calco diretto.

Dunque occasione mancata, perché?

Perché quella copia non è stata utilizzata come 'cavia' per studiare e conoscere a fondo i problemi di deterioramento del bronzo dorato all'aperto e per ricercare e sperimentare nuovi possibili film protettivi.

Perché quella copia dovrebbe essere la cosiddetta copia fedele che molti ritengono solo il calco diretto possa dare ma non lo è, visto che non ripropone la patina superficiale dell'originale antico né quella di oggi, pur essendo fedele nel modellato.

12

13

Fig. 12
La copia in bronzo del Marco Aurelio realizzata dall'IPZS previo calco del modello fotogrammetrico, integrato dalle artiste della scuola della medaglia.

Fig. 13
Il modello 'fotogrammetrico' del Marco Aurelio, costruito con il procedimento ideato e messo a punto dal Laboratorio di Fisica dell'ICR, presentato il 28 aprile 1996 in Campidoglio sul basamento di Michelangelo.

Perché l'innovazione tecnologica proposta poteva dar luogo ad un modello in sintonia con la teoria del restauro, che fosse allo stesso tempo il prodotto di una tecnologia dei nostri tempi e la rappresentazione coerente del monumento senza esserne l'imitazione, come lo spartito lo è per l'opera musicale.

Di conseguenza ritengo che il problema non sia ancora risolto e la polemica non si esaurisca perché i motivi della scelta finale non sono noti e non sono evidenti. Sulla base degli elementi disponibili, potevano essere prese almeno 3 decisioni differenti ma giustificabili e coerenti:

1. ricollocare l'originale all'aperto, purché le conseguenze di tale decisione fossero chiare a tutti ed, in particolare, a chi doveva decidere: ogni cosa ha una durata limitata nel tempo;

2. realizzare la cosiddetta copia fedele: in questo caso l'attuale copia doveva essere patinata ad imitazione dell'originale ed utilizzata per sperimentare nuovi possibili film protettivi (questo potrebbe essere fatto in qualsiasi momento, anche adesso!);

3. ricollocare un modello che rappresentasse coerentemente l'originale, come il modello fotogrammetrico è in grado di fare (fig. 13).

Sono convinto che la terza soluzione sia ancora quella giusta.

Ritengo infatti che al posto della 'copia' sia più corretto utilizzare il modello fotogrammetrico, mantenendo in evidenza le sezioni realizzate per la costruzione fisica del modello, o altra soluzione equivalente in grado di rappresentare l'originale.

Nel risultato finale è stata determinante la scelta degli archeologi del Comune di Roma, che hanno deciso per una soluzione intermedia, orientata alla 'copia fedele'.

Di conseguenza la copia che oggi sostituisce l'originale è stata sì ottenuta seguendo il procedimen-

to indiretto da me sviluppato e messo a punto, ma in disaccordo con gli obbiettivi e le soluzioni che tale procedimento propone.

Il modello fotogrammetrico è stato allora utilizzato come modello intermedio e la copia è stata ottenuta previa modellazione manuale ad opera di un gruppo di artiste della scuola della medaglia dell'Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.

Degli stessi archeologi è stata infine la scelta di non patinare il bronzo perché il colore del metallo nuovo avrebbe alluso alla doratura che i monumenti equestri degli imperatori avevano al tempo degli antichi romani.

Tali decisioni non sono state mai condivise né da me, né dall'allora direttore dell'ICR Michele Cordaro.

Indipendentemente da queste decisioni, l'ICR aveva ritenuto importante portare avanti la sperimentazione del modello fotogrammetrico per progredire nella conoscenza e nella messa a punto delle tecniche utili e necessarie alla conservazione delle sculture all'aperto, alla protezione delle loro superfici ed allo studio della 'pura forma'.

Conclusioni

La velocità di degrado delle superfici scolpite, unita alla scarsa efficacia delle soluzioni protettive oggi proponibili, richiede la creazione di archivi numerici tridimensionali se si vuole mantenere la memoria delle forme scultoree prima che l'esposizione al rischio dell'aggressione ambientale, presa in tutte le sue componenti, dall'inquinamento dell'aria all'atto terroristico e vandalico, ne cancelli ogni traccia (fig. 14). Il caso del Marco Aurelio rappresenta in generale questa problematica e la realizzazione della sua copia mostra l'importanza, la necessità e l'utilità di questo tipo di archivi. Il modello realizzato prova la validità del procedimento che per la prima volta viene eseguito su un'opera scultorea di modellato così articolato e di tale dimensione (4,2 m x 4,1 m x 2,3 m).

Sostituire l'originale con una copia è un'operazione perdente se denota solo i limiti della cosiddetta civiltà tecnologica, da una parte incapace di contenere il rischio di danno entro livelli accettabili, dall'altra incapace di prospettare soluzioni protettive realmente efficaci contro l'attuale aggressione ambientale.

Il modello digitale 3D va oltre l'esecuzione della copia, non solo perché può dare un diverso significato all'operazione, ma soprattutto perché è occasione preziosa per superare quei limiti di cui si parlava poc'anzi. Il modello numerico permette infatti di sviluppare il calcolo ad elementi finiti per eventuali interventi strutturali sull'originale, di realizzare un modello 'discreto', ossia una tra le possibili rappresentazioni dell'originale ottenuta dalla definizione numerica della sua forma geometrica.

In questo senso la discretizzazione della superficie (fig. 15) secondo un campionamento la cui densità può essere spinta al limite della risoluzione visiva può avere per il modellato lo stesso significato che l'integrazione a tratteggio ha per le lacune del colore.

La realizzazione di modelli consente, infine, di sperimentare su questi le nuove tecniche di restauro e di intervento conservativo per applicarle ai manufatti originali solo dopo aver ottenuto suffi-

14

Fig. 14
La testa del Marco Aurelio dopo il restauro.

15

Fig. 15
Particolare della testa del cavallo del Marco Aurelio: esempio della discretizzazione della superficie.

cienti verifiche e garanzie della loro efficacia. In merito è auspicabile che anche la copia in bronzo realizzata dall'IPZS possa essere utilizzata almeno per verificare la validità di soluzioni protettive non ancora note, ma che in futuro potrebbero essere di sufficiente garanzia per ricollocare l'originale al suo posto. Ciò potrebbe forse scongiurare definitivamente l'idea di utilizzare l'originale come 'cavia' in questo tipo di prove per lasciare posto a Marco Aurelio modello di vita, piuttosto che indicatore della qualità dell'aria di Roma.

I risultati ottenuti dalla sperimentazione sembrano indicare nuove possibili soluzioni ai problemi che i restauratori devono risolvere nel restauro della scultura. Il percorso tecnologico offerto dai più recenti sviluppi della tecnologia digitale può essere ricondotto a quattro momenti operativi generali dove, però, la qualità del risultato che è possibile ottenere dipende dalle modalità di impiego della tecnica utilizzata (ad esempio diventa determinante la scelta della frequenza di campionamento e del livello di quantizzazione della superficie) e dalle specifiche di precisione e risoluzione che la caratterizzano. Le fasi del processo possono essere così sinteticamente articolate:

I fase: acquisizione digitale 3D della forma;

II fase: generazione del modello numerico, visualizzazione e simulazione al calcolatore;

III fase: realizzazione di modelli fisici a differente scala;

IV fase: rappresentazione finale della scultura.

I modelli digitali 3D sembrano offrire una interessante soluzione tecnica per la ricomposizione di frammenti e la reintegrazione di lacune provocate da parti mancanti. La struttura di tali modelli è di fatto l'archivio numerico della scultura e, come la partitura è la trascrizione codificata dell'opera musicale, così il modello digitale 3D rappresenta la 'trascrizione dell'opera scultorea' senza per questo esserne la copia, costituendo il miglior mezzo per salvaguardare nel tempo la memoria delle forme scolpite o modellate.

Allo stesso tempo il modello digitale 3D può essere utilizzato in alternativa alla copia nei casi dove tale operazione fosse indispensabile senza dimenticare con Cesare Brandi che «le copie si fanno e si conservano per studio e solo allora sono legittime» e così deve essere.

Se infine i risultati della sperimentazione condotta sono stati in grado di mostrare come si può ottenere una rappresentazione della scultura senza commettere il 'peccato' della copia, forse saremo riusciti a trovare la soluzione che cerchiamo.

Note

[1] G. Accardo, P. De Santis, F. Gori, G. Guattari, J.M. Webster, *The use of speckle interferometry in the study of large works of art*, IV/1.1-1.12; G. Accardo, M. Micheli, (1983), *Assemblaggio reversibile di manufatti in bronzo: l'interferometria olografica come test di controllo delle deformazioni*, in M. Marabelli (a cura di), Atti della I Conferenza Internazionale le Prove non Distruttive nella Conservazione delle Opere d'Arte, Roma 27-29 ottobre 1983, Roma 1985, III/1.1-1.23.

[2] In merito sono note le prime fotogrammetrie eseguite su statue egizie (M. Carbonnel, *Photogrammetrie appliqué / Photogrammetry applied*, ICCROM 1989) e sui Cavalli di San Marco, L. Vlad, *La fotogrammetria e la mappa del Cavallo A*, in *I Cavalli di S. Marco*, Catalogo della mostra, Venezia 1977, pp. 174-183; sul Marco Aurelio: C. Sena, *Rilievo mediante metodi della fotogrammetria del vicino della statua equestre di Marco Aurelio*, in M. Marabelli (a cura di), Atti della I Conferenza Internazionale le Prove non Distruttive nella Conservazione delle Opere d'Arte, Roma 27-29 ottobre 1983, Roma 1985.

[3] G. Accardo, *Il problema meccanico e la forma*, in AA.VV., *Marco Aurelio mostra di cantiere*, Roma 1984, pp. 55-58; G. Accardo, M. Micheli, *L'utilizzazione di modelli per lo studio di problemi strutturali e formali: una metodologia per realizzare copie senza calco*, "Bollettino d'Arte", 1987, 41, pp. 111-125; G. Accardo, *Rilievo fotogrammetrico rappresentazione, controllo, sviluppo di modelli e realizzazione di copie con tecniche automatiche*, in Atti della II Conferenza Internazionale sulle Prove non Distruttive, Metodi Microanalitici e Indagini Ambientali per lo Studio e la Conservazione delle Opere d'Arte, Perugia 17-20 aprile 1988, pp. 1/1.1-21.

[4] J.J. Winckelmann, *Il bello nell'arte*, edizione curata da F. Pfister, Torino 1983.

[5] Bisogna ricordare che allora non esisteva ancora Windows, i CAD disponibili erano ben lontani dalle attuali performance, le potenze di calcolo di un personal computer di oggi erano inimmaginabili così come le più recenti tecniche di rilievo digitale 3D. Lo stato dell'arte metteva a disposizione tecniche artigianali di rilievo per punti (compasso, pantografo, ecc.) ed, in campo industriale, palpatori meccanici a controllo numerico (CN) e frese a copiare.

[6] G. Accardo, G.Santucci, *Metodo di calcolo agli elementi finiti e misure estensimetriche per l'analisi strutturale di manufatti storico-artistici*, in Atti della II Conferenza Internazionale sulle Prove non Distruttive, cit., pp. 1/3.1.

[7] Non bisogna, infatti, dimenticare che il monumento aveva già subito altri interventi di restauro strutturale, prima ad opera dello stesso Michelangelo, successivamente per mano dello Spagna (1835) e dell'Apolloni (1912).

[8] G. Accardo, D. Amodio, P. Cappa, A. Bennici, G. Santucci, M. Torre, *Structural analysis of the equestrian monument to Marcus Aurelius in Rome*, in C.A. Brebbia (a cura di), Atti del convegno *Structural Repair and Maintenance of Historical Buildings*, Firenze 1989, pp. 581-591.

[9] G. Accardo, *Fotogrammetria e modelli per le opere scultoree*, in N. Milella (a cura di), I Colloquio Internazionale *La Fotogrammetria per il Restauro e la Storia - Tecniche analitiche e digitali*, Bari 10-12 novembre 1994, 1995.

[10] Ad esempio si è compreso che il baricentro, cadendo fuori dal poligono di appoggio delle zampe del cavallo, è la causa principale dei problemi statici che hanno accompagnato il monumento fin dall'origine: lo Spagna ha versato una maggiore quantità di metallone all'interno della zampa posteriore sinistra proprio per spostare il baricentro all'interno del poligono di appoggio e controbilanciare la tendenza al ribaltamento della statua. L'intervento del 1835, come quello del 1912, anche se efficace, ha tuttavia cancellato i segni di quelli precedenti e non ci ha permesso di capire come ha operato Michelangelo per consolidare e stabilizzare il monumento. Oggi, tra l'altro, non è più possibile ispezionare l'interno delle zampe per controllare la presenza di eventuali fenomeni di corrosione o per acquisire ulteriori elementi sulla tecnica di fabbricazione.

[11] La verifica di quanto previsto dal calcolo, ovviamente, si è potuta avere solo dopo aver effettuato le misure con i sensori posti direttamente sull'originale, quando il cavaliere è stato riposizionato sul cavallo. Solo dopo queste misure infatti si sono potuti confrontare gli spostamenti e le deformazione previste con i corrispondenti valori reali. Nella normale condizione di carico, rappresentata dal peso del cavaliere (625 kg), la zona di maggiore sollecitazione si localizza comunque nella connessione della zampa anteriore sinistra con il corpo del cavallo. Tra tutte le possibili modalità di appoggio degli zoccoli poste a confronto nelle prove, la più interessante agli effetti di una riduzione delle sollecitazioni, è risultata quella di vincolo ad incastro, che è quella realizzata.

[12] G. Accardo, G. Schirripa, G. Guattari, M. Ciabattoni, F. Provera, D. Ambrosini, D. Paoletti, *Comparative studies on the efficiency of mechanical and optical methods for bronze panels prophilometry*, in 6th International Conference on Non-destructive testing and microanalysis for the diagnostics and conservation of the cultural and environmental heritage, Roma 17-20 maggio 1999, 1999; G. Accardo, G. Schirripa Spagnolo, D. Ambrosini, *Fiber optic contouring with automatic phase unwrapping in artwork diagnostics*, in "Alta Frequenza, rivista di elettronica", 1999, 11, 3.

[13] In merito bisogna comunque ricordare che nel caso della fotogrammetria è possibile ritornare quante volte si

vuole sulle stereo coppie fotogrammetriche per aumentare il campionamento dei punti, mentre con l'altro tipo di sistemi, una volta effettuato il rilievo, rimane fissato il numero dei punti acquisiti. Se si vuole aumentare la frequenza di campionamento occorre ritornare alla statua.

[14] G. Accardo, *Il Satiro di Mazara del Vallo: Modello Digitale 3D*, "Kalos", 2001, 13, 3.

[15] G. Accardo, A. Andreoni, B. Falconi, M.G. Vaccari, *La Madonna del Sansovino nella Loggetta del campanile di san Marco a Venezia: restauro di un restauro con un'ipotesi di modello digitale per la figura del San Giovannino*, "OPD Restauro", 2001, 13, pp. 13-34.

[16] La ricostruzione digitale 3D dell'Ara di Domizio Enobarbo serve per poter rappresentare tutte le ipotesi di ricomposizione che gli archeologi sono in grado di formulare, senza bisogno di spostare fisicamente le parti che compongono il gruppo. I modelli digitali 3D sono stati ottenuti dalla Fox Bit dai rilievi effettuati a Roma (Achille e Teti a Palazzo Altemps), a Berlino (Tritone al Museo Statale), a Parigi (un lato del basamento al Louvre) e a Monaco di Baviera (tre lati del basamento alla Gliptoteca). La sperimentazione è stata condotta dalla Fox Bit nell'ambito del Progetto europeo Raffaello, in collaborazione con Filippo Coarelli dell'Università di Perugia e con il Laboratorio di fisica dell'ICR.

[17] Ad esempio, nel caso del Satiro è stato ottenuto da 151 punti di vista e nel caso della Madonna con il bambino del Sansovino è stato ottenuto da 43 punti di vista diversi.

[18] La dimensione ed il numero di poligoni realizzati per la costruzione dell'intera superficie danno una misura del livello di campionamento e di quantizzazione (discretizzazione) che può essere raggiunto nella definizione numerica della superficie ovvero del modellato. Per il Satiro sono stati campionati 8.232.938 di punti e la superficie è stata quantizzata attraverso la costruzione di 16.465.877 triangoli, per la Madonna con il bambino 7.289.369 punti e 14.578.738 triangoli, per il Marco Aurelio di Palazzo Altemps 3.327.879 punti e per la Testa da Basilea 2.231.380 punti e 4.462.760 triangoli contro i 941.643 punti ottenuti dalla fotogrammetria per tutto il monumento equestre del Marco Aurelio.

[19] G. Accardo, G. Grande, G. Santucci, S. Scardigli, *Numerical and physics models of Marcus Aurelius bronze*, in 5th International Conference on non Destructive Testing, Microanalytical Methods and Environmental Evaluation for Study and Conservation of Worrks of Art, Budapest 24-28 sett. 1996, 1996.

[20] Tra queste ricordiamo la copia in bronzo ottenuta tramite calco diretto da Sbricoli e Moratilla nel 1907, che si trova in un campus della Brown University di Providence (Rhode Island), quella più recente antistante uno dei tanti Casinò di Las Vegas, molti calchi parziali, tra i quali ricordiamo la testa del cavallo ottenuta dal Canova e, in particolare, la copia seicentesca raffigurante l'imperatore a mezzo busto, appartenente alla collezione Ludovisi (G. Accardo, *Realizzazione della copia da rilievo digitale della forma*, "Kermes", 2003, 50, pp. 41-52).

[21] Nella fig. 10, da sinistra: copia ottenuta per integrazione e modellazione manuale del modello fotogrammetrico; copia seicentesca ottenuta da calco diretto; copia della copia seicentesca ottenuta da rilievo a scansione laser.

[22] G. Accardo, *Un modello per il futuro*, in A. M. Sommella, C. Presicce (a cura di), *Marco Aurelio e la sua copia*, Milano 1997, pp. 86-99.

[23] C. Brandi, *Teoria del restauro*, Torino 1977; C. Brandi, *Il restauro. Teoria e pratica*, (a cura di M. Cordaro), Roma 1996, p. 337.

[24] Di fatto la realizzazione della copia è iniziata il 13 aprile 1995, 16 anni dopo aver tolto il monumento dalla piazza del Campidoglio, quando è stato firmato l'accordo tra Comune di Roma, Ministero per i Beni Culturali e Ambientali, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato e dalla Riunione Adriatica di Sicurtà sono stati messi a disposizione i fondi per eseguire tutte le lavorazioni necessarie alla fusione della copia in bronzo secondo il metodo indiretto da me messo a punto ed il procedimento tradizionale della cera persa. Questa parte dei lavori è stata affidata alla Zecca che da subito (21 aprile 1995) ha potuto avviare i lavori di modellazione manuale della superficie solo perché il modello fotogrammetrico era stato realizzato indipendentemente da qualsiasi decisione di copia. La sua realizzazione rientrava infatti nel progetto di ricerca che si proponeva di sviluppare questo tipo di procedimento finalizzato in primo luogo alla definizione di una procedura standard per lo sviluppo dell'archivio digitale 3D per la scultura. Se la mia proposta di rappresentazione fosse stata accettata, ad esempio, le sezioni del modello potevano essere realizzate dello spessore di un millimetro o meno ed il modello poteva essere realizzato senza passare necessariamente attraverso la fusione a cera persa.

[25] Intervista dal titolo *A caval donato...* rilasciata da Alessandra Melucco Vaccaro ad Angela Gallottino, per la rivista "Archeologia", giugno/luglio 1985.

DOSSIER

Giuseppe Basile
Giovanni Attolico
Arcangelo Distante
Marco Malavasi

La ricomposizione virtuale assistita di frammenti di pittura murale

Un metodo funzionale per il recupero, il riassemblaggio, la ricomposizione, il restauro e l'eventuale ricollocazione di frammenti di dipinti murali era stato messo a punto dall'allora direttore dell'Istituto Centrale del Restauro Cesare Brandi già all'indomani della Seconda Guerra Mondiale, operando in particolare sui frammenti di due cicli di pittura murale importantissimi per la storia dell'arte.

Si trattava della decorazione murale dipinta nella seconda metà del '400 da Lorenzo da Viterbo nella Cappella Mazzatosta della chiesa di S. Maria della Verità di quella città e della decorazione della Cappella Ovetari nella chiesa degli Eremitani a Padova, eseguita da Andrea Mantegna e soci anch'essa della seconda metà del '400.

La sequenza completa delle operazioni venne illustrata molto sinteticamente da Brandi stesso nel cataloghino che accompagnava la mostra dei dipinti restaurati della Cappella Mazzatosta prima della loro ricollocazione *in situ*, tenutasi a Roma. Ma limitandoci a quanto fatto in quell'occasione ai fini del riassemblaggio (pur senza tralasciare almeno un fatto destinato a incidere profondamente nella storia del restauro e cioè che proprio in quell'occasione Brandi mise a punto un metodo nuovo e tuttora insuperato per reintegrare le lacune, il 'tratteggio' ben noto agli esperti di tutto il mondo) ricorderò che le tecniche impiegate allora si basavano essenzialmente sulla corrispondenza tra il frammento e l'immagine fotografica (in quel caso in bianco e nero) e sulla ricerca dell'"attacco", cioè sulla identificazione di frammenti contigui ancora in grado di ricongiungersi gli uni con gli altri mediante accostamento. Era questo un metodo ben conosciuto dagli archeologi ma è stato merito di Brandi accentuare l'importanza ed il ruolo dell'altra tecnica (ovviamente possibile solo quando esiste una documentazione dell'opera prima dell'evento dannoso) e dimostrare come solo dall'uso complementare di essi si sarebbero potuti ottenere risultati apprezzabili.

L'Istituto ha poi avuto modo di occuparsi di casi analoghi soprattutto in seguito ad eventi sismici (in modo particolare in Friuli) ma anche in occasione di scavi archeologici (cito soltanto il caso dei dipinti murali altomedievali dell'Abbazia di S. Vincenzo al Volturno, nel Molise) o di ritrovamenti fortuiti e imprevedibili (è il caso dei frammenti di pittura murale anch'essi altomedievali trovati accuratamente conservati in un sarcofago romano sopra uno scheletro nel sottosuolo della sacrestia della chiesa di S. Susanna a Roma).

In tutti questi casi il modo di procedere è stato sostanzialmente lo stesso: tentare di capire a quale parte dell'immagine pittorica frantumata appartiene un certo frammento servendosi di tutti gli elementi e gli indizi presenti in esso nonché delle conoscenze di cui l'operatore dispone.

Tra i primi vanno citati il colore (nelle sue varie componenti, sia materiche che ottiche), la forma, le dimensioni, lo spessore, ecc., tra i secondi eventuali segni di danno o di degrado (lesioni, lacune, abrasioni, alterazioni, ecc.) che mostrino di essere stati interrotti da un improvviso o comunque imprevisto evento traumatico.

Naturalmente quello che incide in maniera imprevedibile, ma generalmente profonda, in que-

sta operazione, è l'attitudine (come si dice in gergo, 'l'occhio') e l'esperienza specifica, oltre che la cultura visiva, dell'operatore (ovviamente sorretto - come avviene ad Assisi - da un apposito gruppo di lavoro interdisciplinare).

Seguendo questi metodi, e disponendo di strumenti di lavoro più efficaci rispetto a quelli utilizzati in passato (ma avendo a che fare, d'altra parte, con una quantità incredibilmente alta di frammenti) si è pervenuti, nell'arco di tre anni, alla ricomposizione, restauro e ricollocazione degli 80.000 frammenti relativi agli otto santi ed alla vela di S. Girolamo del crollo contiguo alla facciata.

Quanto alla vela di S. Matteo di Cimabue, i motivi che hanno spinto l'ICR a ipotizzare il ricorso agli strumenti informatici per il riassemblaggio di quei frammenti si possono schematizzare nel modo seguente:

- il numero dei frammenti conservati in 880 cassette appariva di gran lunga superiore a quello di qualsiasi altro dipinto murale frantumato dal sisma o da altri analoghi eventi traumatici;
- la possibilità di riconoscerne l'appartenenza ad una data zona della gigantografia di riferimento avrebbe potuto essere resa assai problematica dalle condizioni di quei frammenti: praticamente monocromi (per via della caduta dell'oro dal fondo, dell'alterazione omogenea dei pigmenti mescolati con la biacca o con il minio o con il cinabro), o con tracce cromatiche estremamente tenui;
- la possibilità di operare con gli analoghi digitali dei frammenti avrebbe potuto ovviare alla involontaria ma oggettiva e inevitabile usurazione dei frammenti reali, derivante dalla loro manomissione al momento di cercare l'attacco con gli altri frammenti contigui e/o di individuare la corrispondenza tra il frammento e la corrispondente zona della gigantografia dell'immagine prima del crollo (e ciò indipendentemente dalla bravura e dalla accuratezza dell'operatore).

Si cominciò pertanto con l'acquisire mediante macchina digitale i frammenti di quella vela per poterne costituire un archivio virtuale: un'operazione lunga e difficile dato che ognuno dei 120.000 frammenti ha dovuto essere consolidato, pulito, immesso in un materiale particolare (in commercio con il nome di Foam) preventivamente adattato al cassetto e tinteggiato in nero perchè il colore del fondo non potesse interferire con i colori dei frammenti.

Approccio alla ricomposizione virtuale

L'approccio seguito mira alla realizzazione di un sistema che assista l'operatore nelle operazioni di ricomposizione virtuale. La specificità della modalità virtuale è data dal lavorare, durante la ricerca della migliore collocazione per ciascun frammento, non con gli oggetti fisici ma con loro rappresentazioni digitali, nella fattispecie immagini pittoriche dei frammenti stessi. La ricomposizione virtuale ha l'obiettivo di costruire una mappa che associ a ciascun frammento la propria posizione finale all'interno dell'affresco. Tale mappa costituisce quindi la guida per la successiva fase di ricomposizione reale dell'affresco attraverso i frammenti fisici e le opportune azioni di ripristino e di restauro.

La ricomposizione virtuale assistita implica una stretta e continua interazione tra operatore e sistema. L'operatore, che rimane al centro dell'intero processo, riveste un ruolo attivo e strategico. Il sistema, d'altra parte, deve essere progettato modellando le sue funzionalità e la sua logica d'uso e di interfaccia sulle esigenze intrinseche del processo di ricomposizione. La modalità virtuale deve consentire di eseguire la ricomposizione in un modo il più possibile simile a quello tradizionale, lavorando però su immagini digitali e con il valore aggiunto fornito dal sistema informatico per migliorare tutte quelle fasi che, eseguite direttamente, risulterebbero inefficienti o potenzialmente poco efficaci.

Per permettere all'operatore di utilizzare entrambe le tecniche possibili (ricerca della corrispondenza tra frammento ed immagine fotografica e ricerca degli attacchi, ovvero di frammenti ricongiungibili mediante accostamento) si è scelto da subito un approccio basato sulla valutazione di

similarità tra immagini in senso generale e non necessariamente impostato sul confronto dei frammenti con un'immagine di riferimento. L'obiettivo è quello di consentire la valutazione della similarità anche solo tra frammenti, rendendo applicabile il sistema anche quando non sia disponibile un'immagine dell'opera prima della frammentazione.

Si è partiti da un'analisi conoscitiva della modalità di ricomposizione tradizionale, per identificarne le caratteristiche principali e le attività che potessero maggiormente beneficiare del supporto digitale. I parametri considerati nella valutazione dei singoli frammenti sono essenzialmente: la morfologia degli strati della preparazione (livelli, modellatura, granulometria, cariche, materiali di restauro) e del colore (cromia, distribuzione spaziale dei colori, alterazioni naturali o artificiali, crettatura, fessurazioni), la forma e la dimensione, le linee di rottura dei bordi in spessore, le tracce del disegno. Alcune di queste (collegate alla forma tridimensionale o alla superficie posteriore del frammento) non sono ovviamente disponibili e gestibili sulle immagini bidimensionali attualmente disponibili. Esse potrebbero essere gestite in modo digitale, ma richiedono un ulteriore processo di acquisizione, condotto con differenti metodologie, peraltro molto più complesso e costoso anche in termini di tempo. Tale estensione del sistema potrà essere considerata a valle della completa esplorazione delle potenzialità offerte dall'analisi della sola pellicola pittorica. I particolari semanticamente significativi, riconoscibili sulla pellicola pittorica, sono solo in modo parziale alla portata del sistema. È possibile descriverne alcune caratteristiche in modo da renderne possibile l'identificazione e la comparazione automatiche, ma le considerazioni semantiche legate al riconoscimento del loro significato all'interno dell'affresco (e quindi l'eventuale estrapolazione di suggerimenti circa la loro collocazione nell'affresco) rimane appannaggio dell'operatore. Il sistema può invece analizzare, comparare e gestire in modo efficiente le caratteristiche legate al colore, alla tessitura, ai contorni, alla forma ed alla dimensione dei frammenti.

Un'attività fondamentale nel processo di ricomposizione è la classificazione iniziale dei frammenti, generalmente organizzati dagli operatori in gruppi con particolari omogeneità al proprio interno e nel contempo abbastanza caratterizzati gli uni rispetto agli altri. Questa operazione (già in certa misura compiuta sui frammenti della vela del Cimabue durante la composizione dei cassetti nei quali sono attualmente conservati) può evidentemente essere condotta in modo gerarchico e per approssimazioni successive. Gruppi costituiti ad un primo passaggio (per esempio per omogeneità di colore) potrebbero essere ulteriormente suddivisi (per esempio per il particolare tipo di distribuzione del colore al proprio interno, per la presenza/assenza di elementi grafici significativi...). Questi criteri di ripartizione non sono necessariamente identificabili tutti a priori: non sembra dunque possibile considerare ciascun frammento una singola volta per associargli tutti gli attributi necessari (per esempio attraverso annotazioni testuali) per poi utilizzarli durante la ricerca delle somiglianze tra di essi. È invece più plausibile che l'opportunità di effettuare selezioni più fini in base a specifiche caratteristiche emerga a processo di ricomposizione già avviato. Senza l'uso di strumenti informatici adeguati, questo impone il riesame, un numero imprecisato di volte, dei frammenti: un'operazione sicuramente inefficiente. Al costo, anche in termini di tempo, dell'esecuzione manuale di queste operazioni va aggiunto il problema della consistenza degli attributi impostati attraverso l'esame visivo di un elevato numero di oggetti: è infatti difficile ottenere valutazioni coerenti sia da parte di diversi operatori sullo stesso compito che da parte di uno stesso operatore per tempi prolungati. Un algoritmo di analisi produce invece risultati oggettivi, consistenti ed esenti da fatica o cadute di attenzione.

Un'altra attività fondamentale è la ricerca dei frammenti in grado di collegarsi ad altri già collocati e consolidati per ricomporre una particolare area di interesse. Il supporto per questa operazione è stato pensato come interrogazione, attraverso esempi, di

Fig. 1
Vista d'insieme della stazione grafica. I monitor visualizzano l'area di lavoro a risoluzione piena (a sinistra), la miniatura della vela usata per selezionare l'area di lavoro (al centro) e i contenitori (a destra). Il mouse speciale (nero) può controllare simultaneamente fino a 6 gradi di libertà (3 traslazioni e 3 rotazioni) e permette di traslare/ruotare i frammenti nell'area di lavoro.

Fig. 2
Il mouse speciale può essere utilizzato simulando la naturale interazione con i frammenti reali. La sensibilità può essere modulata per consentire movimenti rapidi e macroscopici o lenti e precisi.

una banca dati di immagini. L'interazione con l'operatore risulta molto simile all'uso dei motori di ricerca disponibili per la ricerca dei testi su Internet. L'operatore seleziona un insieme di immagini di esempio che fornisce al sistema di gestione della banca dati che esegue su di essi delle misure e costruisce una rappresentazione interna della interrogazione ricevuta. Questa permette di valutare la pertinenza di ciascun frammento rispetto alla richiesta, selezionando i frammenti di potenziale interesse per l'operatore che, se soddisfatto, li utilizza per proseguire il proprio lavoro di ricomposizione. In caso contrario, modificando l'insieme di esempi (aggiungendo, sostituendo, eliminando immagini) può formulare una nuova richiesta fino ad ottenere i risultati desiderati. Lo stretto rapporto tra sistema e operatore vincola le misure da eseguire sulle immagini a tener conto delle conoscenze attualmente disponibili sul sistema percettivo-visivo umano. Un'evoluzione prevista del sistema permetterà all'operatore, anche senza preparazione specifica nel settore dell'elaborazione e dell'analisi di immagini, di esaminare la descrizione interna della richiesta, espressa in termini di misure visuali eseguite sulle immagini attraverso termini linguistici che trovino un immediato riscontro nel suo spazio percettivo. Ciò per aumentare la flessibilità e la precisione nella formulazione delle richieste.

La trasposizione virtuale della ricomposizione lascia nelle mani dell'operatore il controllo completo del processo, anche nella valutazione finale della migliore collocazione di ciascun frammento (sulla quale il sistema fornisce solo una valutazione di confidenza). Il sistema affianca l'operatore assistendolo nella interazione con la banca dati di frammenti, permettendogli di eseguire operazioni di correzione e di visualizzazione (delle immagini di lavoro e dei risultati intermedi e finali) che sarebbero impossibili sugli oggetti reali, gestendo in modo ordinato il lavoro di ciascuno e sincronizzando la cooperazione di più operatori nella ricomposizione del medesimo affresco.

Architettura del sistema

Per consentire l'impiego dello strumento all'interno del laboratorio di ricomposizione di Assisi, a confronto con un problema delle dimensioni di quello offerto dalla vela di S. Matteo di Cimabue, è stata progettata e sviluppata un'architettura complessa che prevede un server multi-processore centrale (che ospita la banca dati dei frammenti e svolge le operazioni di elaborazione delle immagini) ed una serie di stazioni pittoriche (una per ciascun operatore) opportunamente configurate per consentire l'interazione con il server e la manipolazione/restituzione delle immagini. La prima versione del prototipo prevede che il server e le stazioni siano collegati in rete locale ad alta velocità. L'impostazione dell'architettura software è stata comunque condotta per consentire l'estensione dell'architettura a configurazioni distribuite geograficamente.

Le componenti software del sistema possono essere suddivise tra:
- strumenti per l'analisi, la gestione e l'elaborazione delle immagini;
- interfaccia grafica per l'utente (GUI).

Un primo compito del sistema è la pre-elaborazione delle immagini dei singoli frammenti e dell'intero affresco (se disponibile) per ridurre al minimo le difformità di geometria e di colore introdotte dal processo di acquisizione che possono rendere meno significativo il confronto tra immagini. Normalmente è possibile (come nel caso della vela di S. Matteo) acquisire in condizioni controllate le immagini dei frammenti, usando riferimenti (di colore, di intensità di luce, di geometria) utili a

3

4

5

Fig. 3
Copia di una parte della vela (circa 1.5 mq e 1000 frammenti) eseguita e frammentata per svolgere le prime prove di ricomposizione. Il rettangolo azzurro evidenzia l'area di lavoro visualizzata a risoluzione piena sul monitor dedicato.

Fig. 4
L'area di lavoro con alcuni frammenti ricollocati. Il rettangolo scuro evidenzia una regione che l'operatore ha deciso di estrarre per utilizzarla come esempio nell'eseguire un'interrogazione alla banca dati dei frammenti.

Fig. 5
La regione scelta per interrogare il database viene evidenziata: l'operatore può accettare o rigettare la selezione fatta; può inoltre decidere in quale contenitore inviare l'immagine risultante.

valutare tali variazioni nelle singole acquisizioni. È probabile invece che l'immagine dell'intero affresco, se disponibile, sia stata acquisita per finalità diverse e senza la predisposizione dei riferimenti necessari alla sua correzione. Solo il riconoscimento di un significativo numero di frammenti può permettere di estrapolare il modello della trasformazione di colore introdotta dall'acquisizione, rendendone possibile la correzione. Per quanto riguarda le deformazioni geometriche (nella vela una superficie curva nello spazio è stata proiettata dall'acquisizione su un'immagine piana) è necessario ricostruire il tipo di proiezione occorso per poter generare approssimazioni locali piane della superficie pittorica, da confrontare nel sistema con i frammenti.

Il secondo compito è la costruzione della banca dati dei frammenti. Le immagini dei singoli frammenti devono infatti essere estratte, in modo automatico dal sistema, da quelle dei cassetti, nei quali, mediamente, sono disposti dai 100 ai 130 oggetti. Durante tale fase viene impostato un identificatore univoco per ciascuno di essi, destinato a correlare in modo univoco gli oggetti fisici (cassetto di provenienza, posizione nel cassetto) con la loro versione digitale. Questa corrispondenza è necessaria per riprodurre nella realtà, in modo veloce ed efficiente, la disposizione dei frammenti ricomposti in modo virtuale facendo uso del sistema.

Un ulteriore compito è l'estrazione delle caratteristiche visive che descrivono il contenuto di ciascuna immagine (colore, tessitura, contorni, ...). Su questi elementi è strutturato il criterio di valutazione della similarità tra frammenti ed immagini di esempio selezionate dall'operatore.

La workstation grafica costituisce l'interfaccia tra l'operatore ed il sistema ed è un personal computer adeguatamente configurato (fig. 1). Essa, oltre ad opportune quantità di memoria primaria e di massa, ha più monitor, una scheda di visualizzazione di immagini pittoriche ad alte prestazioni ed un particolare tipo di joystick per permettere la simultanea traslazione e rotazione di immagini digitali nello spazio di lavoro (fig. 2).

All'avvio della propria attività, l'operatore deve

Fig. 6
Un particolare (a) della regione scelta per l'interrogazione. Dalla vista ingrandita (b) è evidente la presenza nel frammento di colori che creano, a causa della loro distribuzione spaziale, un'impressione percettiva profondamente diversa sull'occhio dell'osservatore. Il modello della correlazione tra frequenze spaziali e percezione visiva è stato introdotto nella funzione di analisi della cromia, per rendere significativa la cooperazione tra sistema ed operatore.

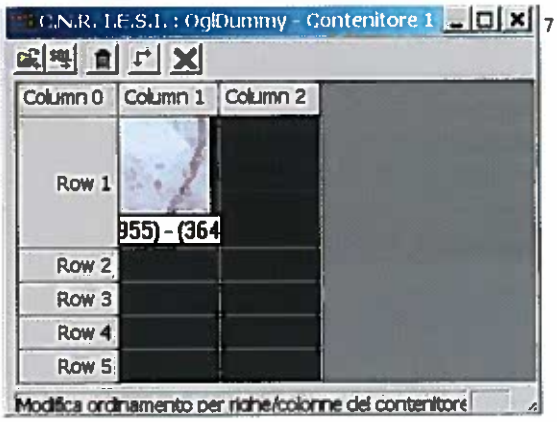


Fig. 7
Contenitore con l'immagine estratta dall'area di lavoro: rappresenta l'insieme di esempi (in questo caso solo uno) sulla base dei quali eseguire l'interrogazione della banca dati.

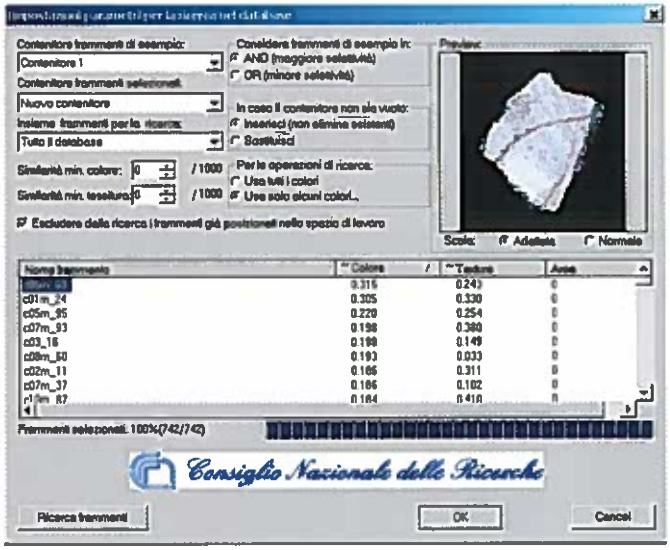
configurare l'ambiente, attraverso la creazione di un progetto di ricomposizione:

- identificare una immagine di riferimento dell'affresco, se disponibile, di cui il sistema costruisce una versione (miniatura) abbastanza piccola da essere completamente visibile su di un singolo monitor (fig. 3). Su di essa può essere scelta la parte da mostrare, a risoluzione piena, nell'area di lavoro (fig. 4);
- identificare una collezione di frammenti, ciascuno descritto dall'immagine digitale e dalle caratteristiche estratte dagli algoritmi di analisi;
- impostare alcuni fattori di scala, che correlano l'immagine di riferimento, la sua miniatura e le immagini dei frammenti, in termini di pixel e nello spazio metrico reale.

Un monitor primario ospita l'area di lavoro corrente, la controparte virtuale del tavolo utilizzato nella ricomposizione fisica. Una finestra separata contiene l'immagine in miniatura all'interno della quale, con il mouse, selezionare l'area di lavoro. Infine, l'interfaccia è composta da un numero variabile di finestre che ospitano i contenitori virtuali. Essi rappresentano l'equivalente logico dei contenitori usati con i frammenti reali e contengono immagini digitali (frammenti o dettagli estratti dall'immagine di riferimento dell'intero affresco) che per l'operatore risultino logicamente correlate. La progettazione di questi elementi è volta a favorire la naturale transizione verso la ricomposizione virtuale, senza stravolgere l'abituale prassi operativa. Naturalmente il sistema non può riprodurre alcune possibilità legate alla interazione fisica con i frammenti: l'esplorazione tattile del frammento, il suo esame da differenti punti di vista (eventualmente con diverse posizioni ed orientazioni rispetto alla fonte di luce), l'esame del retro dei frammenti, ecc.: le immagini digitali, per loro natura, possono rappresentare solo una limitata quantità dell'informazione originaria disponibile su ogni frammento. Come in molte altre applicazioni digitali, le funzionalità offerte (impossibili sugli oggetti fisici nel mondo reale) si ritiene possano compensare in gran parte queste lacune rendendo efficace e significativa la ricomposizione virtuale.

Un contenitore può essere creato e quindi riempito dall'operatore, o può contenere il risultato di un'operazione del sistema (per esempio la risposta ad una interrogazione alla banca dati, fig. 5). L'operatore può prendere un frammento, trascinarlo sull'area di lavoro, e rilasciarlo nella posizione desiderata oppure spostarlo tra contenitori. I contenitori possono essere creati, distrutti, spostati sugli schermi, e, se necessario, ridimensionati.

Le immagini digitali (dei frammenti o estratti dall'immagine di riferimento) possono essere collocate in un contenitore prelevandole dal database, copiate o mosse in un altro contenitore (non è necessario che ogni frammento sia presente in un



8

solo contenitore come nella realtà), rimosse da un contenitore (la qual cosa non implica la cancellazione dal database). L'operatore può scegliere differenti criteri di ordinamento, crescente o decrescente, delle immagini in ogni singolo contenitore: il loro nome, la loro larghezza, la loro altezza, la loro dimensione complessiva, la similarità rispetto agli esempi se i frammenti giungono da una interrogazione al database.

Le normali operazioni possono richiedere diversi contenitori, anche di differenti dimensioni. Questo giustifica l'uso di più monitor, uno riservato all'area di lavoro e gli altri per la miniatura e per i contenitori (o per altre applicazioni che sia utile utilizzare in contemporanea).

Il tradizionale mouse è utilizzato per muovere oggetti, ridurre/ingrandire/muovere finestre, selezionare l'area di lavoro attraverso la miniatura, muovere le immagini (tra contenitori e dalla/alla area di lavoro). La tastiera è principalmente utilizzata per la scrittura di testi (nomi dei contenitori, parametri per il progetto, ...).

Il modello di joystick scelto è usato per gestire i frammenti nell'area di lavoro, per permettere la traslazione e la rotazione simultanea dei frammenti verso la loro migliore collocazione. La sua sensibilità può essere controllata (per movimenti rapidi e

Fig. 8
L'interfaccia utilizzata per interrogare il database. Per ciascuno dei frammenti è quantificata la similarità con gli esempi in termini di colore, tessitura ed area: l'elenco può essere ordinato, in modo crescente o decrescente, rispetto a ciascuna caratteristica.

Fig. 9
Le immagini in sequenza (da 1 a 9) mostrano l'evoluzione della ricomposizione dell'area selezionata attraverso la collocazione dei frammenti derivati dalla interrogazione mostrata nelle foto precedenti.

9

Fig. 10
Le immagini mostrano come la semitrasparenza sia offerta come uno strumento per valutare in modo migliore sia la similarità tra frammento ed area sottostante che la migliore posizione ed assetto per esso. È stato utilizzato uno dei sei mattoni di cui è disponibile al momento la posizione nella vela di S. Matteo. Questi elementi di corrispondenza tra frammenti e vela sono attualmente utilizzati per estrapolare le necessarie correzioni di colore sull'immagine intera della vela.

Fig. 11
a) L'immagine digitale di un mattone sovrapposta a quella della vela intera.
b) Il colore dell'immagine complessiva della vela è stato corretto attraverso una prima stima.
Anche se non definitiva, la correzione applicata aumenta la compatibilità cromatica tra immagine di riferimento e frammenti.

macroscopici oppure lenti e precisi). Una serie di pulsanti in dotazione permettono l'accesso diretto ad alcune funzionalità del sistema.

La funzionalità basilare di supporto alla ricomposizione è la valutazione della similarità tra le immagini (sia di frammenti che di particolari estratti dall'immagine di riferimento).

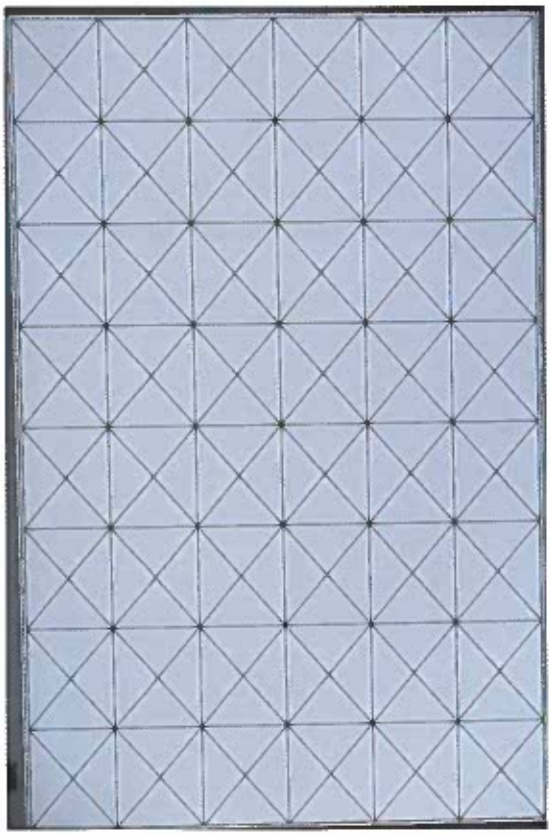
La ricerca più comune di frammenti parte con la scelta di un insieme di immagini (rettangoli estratti dall'area di lavoro - fig. 6 - e/o frammenti selezionati nel database) che vengono raccolti in un contenitore. Il sistema restituisce i frammenti che sono simili agli esempi in termini di colore e tessitura. I risultati, dopo un raffinamento fatto attraverso una apposita interfaccia, sono collocati in un contenitore (fig. 7).

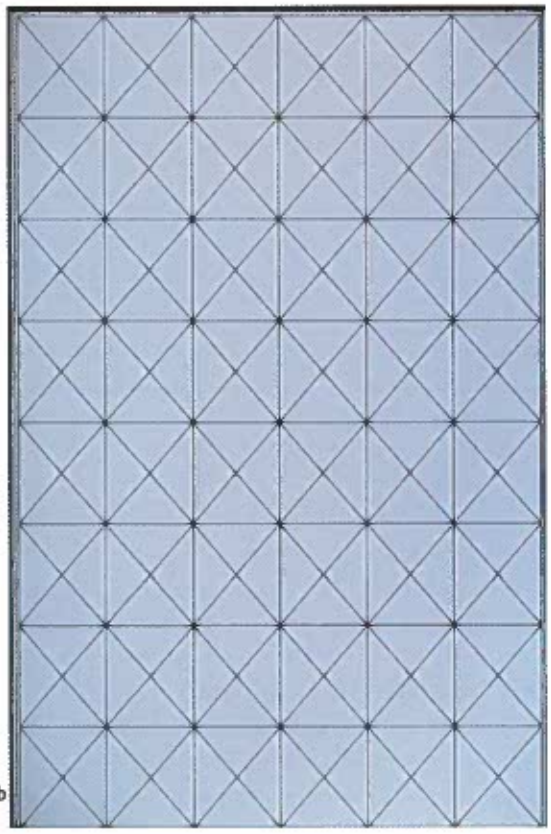
Per la richiesta l'operatore può specificare un insieme di dati, attraverso una apposita finestra di dialogo (fig. 8):

- il contenitore che contiene le immagini esempio,
- il contenitore che conterrà i risultati (esistente o nuovo),
- se eseguire la ricerca sull'intero database o su un insieme di immagini (contenitore).

L'operatore può escludere dalla ricerca i frammenti già disposti nell'area di lavoro. Può decidere se la similarità deve essere valutata rispetto a tutti gli esempi (modalità AND) o solo rispetto al migliore (modalità OR). La ricerca seleziona tutti i frammenti che soddisfano i criteri impostati. L'operatore può ordinarli per valore di similarità o per dimensione. Può modificare la soglia minima di similarità mentre la corrispondente lista di frammenti si aggiorna senza ripetere la ricerca. La modifica dell'insieme di esempi, come della regola di confronto AND/OR, richiede invece l'esecuzione di una nuova ricerca.

12a





12b

13

L'operatore può valutare i risultati anche attraverso una visualizzazione dei frammenti a risoluzione piena o con l'applicazione di un fattore di scala che li mostri completamente. Può selezionare parte dei risultati utilizzando le tradizionali modalità proprie di Windows (attraverso il mouse, eventualmente usando i tasti *shift* o *ctrl* per selezioni multiple). I frammenti selezionati possono essere inseriti nel contenitore desiderato.

L'operatore ha quindi la piena responsabilità delle impostazioni della ricerca e delle modifiche (aggiunte, rimozioni, cambiamenti) dell'insieme degli esempi. Egli può interattivamente ed iterativamente rifinire la propria richiesta per ottenere la risposta desiderata.

La ricerca della migliore collocazione per ogni frammento (fig. 9) richiede che questo sia spostato

Fig. 12
L'immagine (a) mostra uno dei grigliati di riferimento: è percepibile una distorsione (i rettangoli non hanno effettivamente i lati paralleli) introdotta dalla geometria del sistema di acquisizione. Tale deformazione è stata corretta nell'immagine (b). L'applicazione della medesima correzione a tutte le immagini dei cassetti o dei mattoni cui il grigliato si riferisce permette di eliminare gli effetti di deformazione nella loro forma e dimensione.

Fig. 13
L'immagine mostra uno dei fogli bianchi usati come riferimento per la valutazione della uniformità di illuminazione sul campo di acquisizione. Anche se le immagini acquisite, viste direttamente, appaiono uniformemente bianche, esistono (sono state evidenziate per aumentarne la leggibilità) delle difformità di illuminazione la cui entità può condizionare pesantemente la valutazione delle similarità di colore.

nell'area di lavoro. Qui, utilizzando il joystick, esso può essere mosso (ruotato/traslato) fino ad una sistemazione soddisfacente. Per facilitare questa fase il frammento può essere reso parzialmente trasparente (a differenti livelli) per consentirne il confronto con il fondo sull'area di lavoro (figg. 10 e 11). La posizione (rotazione e traslazione) può essere calcolata dal sistema sulla base di due coppie di punti corrispondenti identificati sul frammento e sull'area di lavoro tramite il mouse. Anche la luminosità ed il contrasto dell'immagine di riferimento possono essere modificate per migliorare il riconoscimento visivo fatto dall'operatore.

Dopo essere stato collocato, un frammento può essere bloccato, per evitarne l'ulteriore manipolazione. Il blocco può essere rimosso solo attraverso un'esplicita azione da parte dell'operatore. Piccoli aggiustamenti di collocamento possono essere espressi attraverso l'inserimento da tastiera delle corrispondenti traslazioni/rotazioni (assolute o relative alla posizione/assetto correnti).

L'operatore può ingrandire o rimpicciolire l'area di lavoro, per riprodurre l'effetto di allontanamento dal tavolo di lavoro: questa operazione in digitale è molto più flessibile specialmente su un'area vasta 35 m² come nell'affresco di S. Matteo. La visualizzazione dei frammenti o dell'immagine di riferimento può essere temporaneamente disabilitata, per eliminare l'interferenza percettiva tra queste due componenti. Il sistema può visualizzare diverse soluzioni di integrazione delle lacune, permettendone il confronto. Può anche eseguire analisi radiometriche, colorimetriche e geometriche per eseguire confronti visivi impossibili sugli oggetti reali.

La ricomposizione finale può essere stampata come una mappa per guidare la collocazione dei frammenti reali. Gli identificativi univoci dei frammenti permettono l'immediato recupero del corrispondente oggetto fisico. Il processo di ricomposizione può essere interrotto e ripreso, salvando lo stato corrente del progetto (inclusi numero, contenuto e disposizione dei contenitori). Un'opzione di salvataggio automatico, che avviene ad intervalli regolari di tempo, può essere abilitata in modo da prevenire perdite dovute a cause accidentali.

TABELLA 1

L	a	b	CIELab	S-CIELab	Perception
35	6	54	14	0	1156
34	7	53	38	174	0
35	7	53	16	166	0
34	7	52	86	153	0
36	7	53	7	102	0
35	7	52	17	59	0
33	7	53	4	56	0
35	6	53	42	44	0
34	6	53	45	37	0
32	7	52	10	34	0
34	6	52	65	33	0
37	7	53	8	28	0
33	6	52	38	26	0
36	6	53	41	21	0

TABELLA 2

L	a	b	CIELab	S-CIELab	Perception
49	9	53	2022	0	2304
48	9	53	0	2187	0
47	9	52	1	12	0
47	10	53	1	5	0
47	9	53	0	5	0
48	10	53	1	2	0
49	8	53	117	0	0
49	9	52	83	0	0
49	10	53	30	0	0
49	8	52	12	0	0
49	10	52	12	0	0

FUNZIONALITÀ DEL SISTEMA

L'attività di ricerca ha interessato sia lo studio degli strumenti per massimizzare l'omogeneità tra le immagini disponibili (dei frammenti e della intera

TABELLA 3

Area 2	CIELAB			S-CIELAB		
	Frammenti restituiti	Fram. posizionati	[%]	Frammenti restituiti	Fram. posizionati	[%]
Similarità> 0.001	90 out of 735			12 out of 733	6	50
Similarità> 0.002	82 out of 735					
Similarità> 0.020	10 out of 735	4	40			

vela) e per costruire la banca dati di immagini dei frammenti singoli che la messa a punto di strumenti per costruire una funzione di similarità tra immagini il più possibile coerente con le valutazioni dell'operatore.

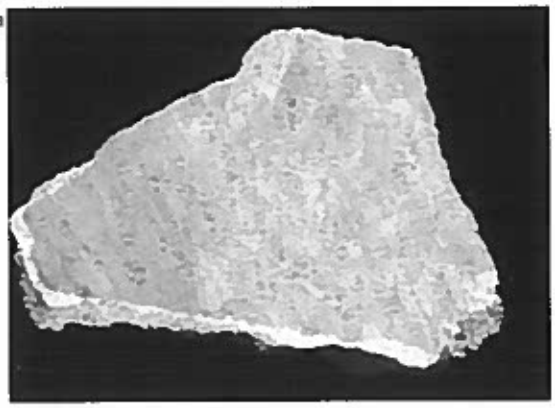
La correzione delle differenze di tipo geometrico, radiometrico e colorimetrico tra le diverse immagini risulta più agevole sui frammenti, acquisiti in condizioni controllate e facendo uso dei riferimenti necessari alle operazioni di correzione (figg. 12-13). Per la vela prima della frammentazione, invece, le immagini disponibili sono state acquisite senza riferimenti di alcun genere e senza memoria delle condizioni ambientali e delle caratteristiche della strumentazione. Oltre agli effetti indotti dalla proiezione di una superficie curva tridimensionale sul piano immagine bidimensionale si devono compensare effetti di luce e di colore sui quali si possono fare ipotesi solo attraverso il riconoscimento e la ricollocazione, per il loro contenuto pittorico fortemente caratteristico, di alcuni frammenti all'interno dell'immagine complessiva.

Per la creazione della banca dati di immagini dei singoli frammenti è stato messo a punto un algoritmo per la loro estrazione dalle immagini dei cassetti usando in modo combinato l'informazione cromatica sui frammenti e sullo sfondo e quella legata ai loro contorni, singolarmente non in grado di separare gli oggetti di interesse dal Foam di supporto.

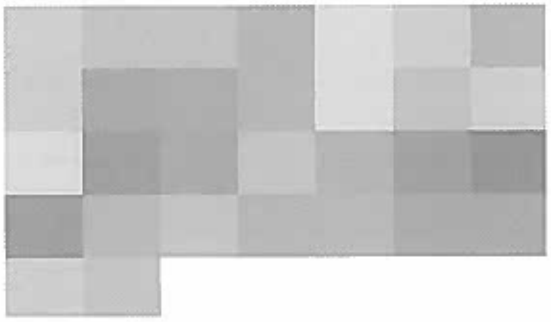
La valutazione della similarità tra immagini è essenziale per la messa a punto di strumenti specifici che possano gestire in modo efficiente la banca dati di frammenti all'interno del sistema. Il ruolo primario e critico è svolto dalla modellazione del criterio di similarità utilizzato dagli operatori nelle proprie valutazioni sui frammenti. Essa deve tenere conto sia delle specificità del sistema percettivo visivo umano, sia delle caratteristiche utilizzate in operazioni di restauro di questa natura. La scelta di fondarsi su una stretta interazione tra sistema informatico ed operatore ha imposto di costruire la misura di similarità tra immagini in modo il più possibile compatibile con le valutazioni che i restauratori possono eseguire sulla base delle proprie percezioni visive. Questo requisito è fondamentale, tanto per la modalità attuale di interrogazione attraverso esempi che nella modalità che si prevede di integrare nelle future attività, che dovrebbe consentire la manipolazione diretta della descrizione delle interrogazioni attraverso un linguaggio (vocabolario, grammatica) legato al contenuto visuale delle immagini.

La compatibilità tra sistema e spazio percettivo dell'operatore ha guidato la scelta delle caratteristiche primarie su cui basare la valutazione di similarità tra immagini (colore, tessitura, segni lasciati da restauri precedenti o dal deterioramento legato al trascorrere del tempo) e la selezione dei metodi per misurarle sulle immagini. Colore e tessitura, evidenziati come criteri guida nello specifico contesto della ricomposizione di frammenti, le componenti portanti del vocabolario consolidato nella problematica generale dell'accesso basato su contenuto a collezioni di immagini. Sono quindi stati studiati i modelli, e le loro estensioni e varianti, meglio applicabili allo specifico problema.

14a



14b



14c

Fig. 14
a) L'immagine evidenzia la distribuzione spaziale dei colori all'interno del frammento.
b) La tavolozza di colori nello spazio CIELab è abbastanza estesa e comprende anche colori che contribuiscono poco alla percezione visiva.
c) La metrica S-CIELab, invece, genera una tavolozza più compatta e che presenta colori più vicini alla percezione reale da parte del sistema visivo umano.

Fig. 15
Immagine dell'Area2 della copia dell'affresco (a) prima e (b) dopo il processo di ricomposizione virtuale realizzato usando la metrica S-CIELab. In (b) sono stati posizionati correttamente sei frammenti.

Lo spazio di colore S-CIELab

Per migliorare l'accordo tra le valutazioni fatte dal sistema e le caratteristiche percettive proprie del sistema visivo umano per quanto concerne il colore, una parte importante della valutazione di similarità, è stata scelta in un primo tempo la metrica CIELab che meglio rapporta le misure fisiche eseguibili sulle immagini alle differenze percettive. Essa è però ricavata da studi sulla discriminazione del colore su larghe regioni di colore uniforme. Questo fa sì che venga generato un errore di predizione rispetto alle risposte fornite dagli operatore quando la si applica ad immagini finemente strutturate, essendo dimostrato che la discriminazione e la percezione del colore dipendono profondamente dalla struttura spaziale dell'immagine, sempre molto articolata nelle immagini dei frammenti.

Si è passati quindi a sperimentare la metrica S-CIELab, un'estensione spaziale della rappresentazione CIELab, introdotta da Zhang e Wandell, che riproduce, attraverso la norma euclidea, le distanze del colore percepite da un osservatore umano anche in presenza di distribuzioni spaziali complesse. La metrica S-CIELab applica un opportuno filtraggio spaziale alle immagini a colori per simulare lo sfocamento spaziale normalmente eseguito dal sistema visivo umano, tenendo conto degli effetti generati tanto da aree colorate uniformemente che da aree strutturate. Viene quindi rappresentata l'influenza che la distribuzione spaziale ha sul colore percepito e quindi sulla discriminazione cromatica e, rispetto alla metrica CIELab, si riduce considerevolmente l'errore predittivo delle rappresentazioni numeriche rispetto agli operatori anche nella valutazione di immagini reali.

Il metodo S-CIELab converte i dati nello spazio dei colori opponenti (nel quale le tre dimensioni rappresentano rispettivamente le componenti di luminanza, di rosso-verde e di blu-giallo) che rappresenta l'immagine in modo indipendente dal dispositivo. Ogni piano nello spazio dei colori opponenti viene quindi filtrato in accordo con la sensitibilità spaziale che l'occhio umano ha per ciascuna componente: le componenti cui l'occhio umano è meno sensibile vengono ridotte mentre quelle non visibili vengono completamente cancellate. La rappresentazione viene poi trasformata nello spazio del colore XYZ cui viene applicato il procedimento CIELab ottenendo la rappresentazione S-CIELab dell'immagine.

La configurazione della metrica S-CIELab come fase di pre-elaborazione spaziale delle immagini produce un algoritmo modulare, i cui parametri, relativi a trasformazioni del colore e filtraggio spa-

ziale, sono stati determinati attraverso misure sperimentali sull'adattamento del colore nel sistema visivo umano eseguite da Poirson e Wandell (i parametri dei filtri sono stati ottenuti adattando la somma di due o tre gaussiane alle curve di adattamento spaziale rilevate su strutture ad onda quadra: per il canale acromatico è risultata sufficiente la somma di due gaussiane mentre per i canali del colore è stata necessaria la combinazione di tre gaussiane).

L'elaborazione spaziale sostituisce a ciascun colore dell'immagine un valore equivalente corrispondente ad un largo campo uniforme in grado di produrre una percezione visiva equivalente. L'algoritmo è basato su un'architettura *pattern-color* separabile, altra caratteristica rilevata in numerosi studi nella rappresentazione visiva umana di semplici strutture colorate.

La scelta dello spazio S-CIELab ha prodotto due risultati: approssimare meglio le valutazioni di similarità compiute dagli operatori nel confronto degli istogrammi; presentare i colori misurati sulle immagini attraverso una tavolozza che fosse compatibile e plausibile rispetto ai colori realmente percepiti dall'occhio. Entrambi i risultati sono essenziali, dovendo l'operatore guidare il processo di ricerca al fine di selezionare i frammenti di interesse reale per il suo lavoro.

Una prima serie di esperimenti ha verificato come i colori S-CIELab siano realmente più vicini a quelli percepiti rispetto alla loro controparte CIELab. Sono state estratte da alcuni frammenti, rappresentati nello spazio CIELab, delle piccole aree aventi caratteristiche uniformi in termini di colore e tessitura percepiti. Per ciascuna di esse è stata costruita, usando un programma di elaborazione delle immagini, l'area corrispondente costituita da un singolo colore e tale da fornire la medesima impressione visiva. I valori Lab associati a quest'ultima regione sono diventati i valori attesi di riferimento per la regione estratta dal frammento. Infine, per ognuna delle aree è stata considerata la rappresentazione corrispondente nello spazio S-CIELab.

15a

15b

Per tutte le aree prese in considerazione sono stati ricavati due istogrammi, uno nello spazio CIELab e l'altro nello spazio S-CIELab, che sono stati successivamente confrontati con i valori Lab attesi al fine di verificare quale si adattasse meglio alla percezione visiva umana.

È stato osservato che l'S-CIELab genera un istogramma più compatto del CIELab standard (tabelle 1 e 2) e che la tavolozza S-CIELab mostra colori che sono più vicini alla percezione umana (fig. 14). I pixel nello spazio S-CIELab sono associati a pochi colori aventi una distanza dal colore percepito molto vicina alla minima differenza apprezzabile ($\Delta E = 1$). I colori nello spazio CIELab, invece, sono abbastanza distribuiti ed una quantità significativa di essi è più lontana dal colore percepito rispetto ai colori S-CIELab (tabelle 1 e 2).

Dato che gran parte dell'affresco presenta strutture spaziali molto articolate, i vari colori sono distribuiti nello spazio fornendo una percezione visiva che talvolta risulta essere abbastanza lontana da ciascuno dei colori che contribuiscono a crearla. Gli istogrammi CIELab richiedono un grande numero di colori per coprire una parte significativa delle regioni. Quelli che contribuiscono poco alla percezione visiva possono entrare nell'istogramma ed influenzare la fase di ricerca che diventa meno selettiva. Ciò risulta particolarmente evidente quando la tavolozza CIELab, che mostra i colori presenti nel frammento ed è rapportata alla tavolozza globale valutata sull'intero affresco, viene confrontata con la corrispondente tavolozza S-CIELab.

Ulteriori esperimenti hanno mostrato che la ricerca eseguita usando gli istogrammi nello spazio S-CIELab è più selettiva. Essa fornisce un minor numero di frammenti, molti dei quali sono realmente relazionati con l'area usata come esempio per la richiesta anche senza ulteriori manipolazioni da parte dell'operatore. I test sono stati eseguiti su tre aree distinte dell'immagine di riferimento, assumendo che i frammenti posizionati correttamente nello spazio di lavoro dopo ciascuna ricerca siano scartati durante le interrogazioni successive. La ricerca dei frammenti nel data-base è stata eseguita per valori differenti della soglia di similarità, in entrambi gli spazi del colore. Tale soglia esprime la minima similarità tra frammenti richiesta dall'operatore attraverso l'interfaccia utente proposta; tale valore può essere fissato nell'intervallo [0.001,1]. All'aumentare della soglia, quindi, cresce anche la similarità fra l'immagine fornita come esempio ed i frammenti e, parallelamente, diminuisce il numero di frammenti restituiti dalla ricerca.

I risultati evidenzano la maggiore selettività della metrica S-CIELab rispetto alla metrica CIELab (tabella 3). Per il valore più piccolo, lo spazio del colore S-CIELab restituisce un numero di frammenti che è quasi di un ordine di grandezza più piccolo di quello ottenuto dalla metrica CIELab. La percentuale di frammenti restituiti dal sistema e successivamente validati dal restauratore è sempre maggiore se si lavora nello spazio S-CIELab. In due delle tre aree oggetto mostrate, usando la metrica S-CIELab, si è riscontrato un aumento significativo del numero di frammenti posizionati correttamente rispetto a quelli restituiti dalla ricerca basata sulla metrica CIELab. Inoltre in alcuni casi, la metrica S-CIELab ha consentito di posizionare correttamente frammenti che non erano mai stati riconosciuti in precedenza come appartenenti alle aree di interesse (fig. 15). La metrica S-CIELab, infine, all'aumentare del valore di soglia tende a scartare i frammenti che non sono riconducibili all'area di interesse. Questa selettività semplifica notevolmente il lavoro di ricerca del restauratore.

È importante comunque notare che i risultati che si ottengono con entrambe le metriche possono essere influenzati da alcuni fattori non facilmente controllabili. Il restauratore, in ogni caso, è responsabile dell'intero processo di ricomposizione e quindi è necessario tenere conto della sua soggettività nella valutazione dei risultati della ricerca restituiti dal sistema, fattore non facilmente quantificabile e controllabile.

Le tavolozza di riferimento CIELab ed S-CIELab dell'intero affresco usate nei test di similarità coprono solo una percentuale definita dall'utilizzatore di tutti i colori presenti nei frammenti. Nei test eseguiti sono stati scelti i colori più rappresentativi che coprono il 90% dell'affresco.

CONSIDERAZIONI FINALI SULLA METODOLOGIA

L'approccio proposto si basa su una stretta cooperazione tra il sistema digitale e l'operatore che gioca un ruolo primario, compie valutazioni (anche semantiche) sui frammenti ed usa gli strumenti digitali per incrementare l'efficienza e l'efficacia del proprio lavoro.

Il sistema quindi espande le capacità dell'operatore, responsabile dell'intero processo. Questi svolge il proprio lavoro, modificandone il meno possibile la logica, usando la *workstation* per eseguire compiti che, svolti in modo tradizionale, potrebbero essere inefficienti e potenzialmente inefficaci.

Il sistema deve integrare strumenti di emulazione consistente ed efficace delle valutazioni di similarità umane in una architettura centrata sull'operatore, che fornisca una naturale transizione del lavoro dal mondo reale al mondo virtuale. In quest'ultimo gli strumenti automatici di valutazione della similarità visiva tra immagini forniscono un aiuto molto potente. Attraverso esempi possono essere cercati oggetti dotati di particolari caratteristiche senza che l'operatore esamini l'intera collezione di frammenti. Le inconsistenze di un operatore nel tempo o delle valutazioni effettuate da differenti operatori (presenti nei sistemi digitali basati su annotazione manuale di ciascuna immagine digitale) sono definitivamente evitati così come il dispendio di tempo e di costo legati al reiterato esame degli oggetti fisici.

Il primo dimostratore, dotato delle funzionalità principali del sistema, ha otenuto un'incoraggiante accettazione dalla comunità addetta alla ricomposizione ed ora evolve verso la versione finale dotata di tutte le funzionalità richieste dalla sfida posta da affreschi della complessità della vela di S. Matteo. Il risultato sarà comunque sempre aperto all'integrazione di nuovi strumenti che la ricerca scientifica renderà disponibile. La sua flessibilità e la potenza sembrano sufficienti a migliorare l'efficacia e l'efficienza dell'attività quotidiana degli operatori.

Le impressioni degli addetti che lo hanno sperimentato confermano che gli strumenti informatici possono e devono essere intesi come elementi complementari al bagaglio di conoscenze dell'operatore. Essi hanno la capacità di gestire in modo integrato e veloce una grande quantità di informazioni, consentendo una riduzione di tempo associata alla possibilità di potere fare riferimento a dati oggettivi. Il sistema permette di confrontare rapidamente uno o più frammenti con tutti gli altri secondo l'analisi di parametri quali: colore, tessitura, area, perimetro parziale o intero. Ciò fornisce all'operatore in brevissimo tempo gruppi coerenti di frammenti sui quali lavorare. Lo studio del frammento e la sua collocazione possono essere agevolati da funzioni accessorie (ingrandimento della superficie pittorica per evidenziare particolari che possono sfuggire ad un'osservazione diretta, la resa in trasparenza, l'uso diretto di coordinate geometriche).

Esso ha inoltre dimostrato di eliminare i 'tempi di disturbo' e il 'frastuono di fondo': l'avere contemporaneamente presenti su uno schermo continuo l'immagine di riferimento generale e porzioni di essa ingrandite elimina la difficoltà, propria della dimensione operativa reale, di effettuare un riscontro immediato fra cassetta-frammento-piano di lavoro, in particolare quando quest'ultimo si estende su una superficie molto vasta. La concentrazione dell'operatore è agevolata dal muoversi all'interno di uno spazio bidimensionale. Infine la ricomposizione virtuale dei frammenti avrà anche il vantaggio di fornire immediatamente ai restauratori la restituzione pittorica della superficie dipinta ricomposta, informazione importante specie in presenza di configurazioni particolari quali superfici curve.

Si ringraziano Lidia Rissotto ed Angelo Rubino (Istituto centrale per il restauro) e Manuela Viscontini (Università della Tuscia) per i preziosi contributi forniti durante la fase di conoscenza delle problematiche della ricomposizione dei frammenti, necessaria per l'impostazione del sistema, e per le successive fasi di verifica critica delle funzionalità del prototipo ai diversi stadi del suo sviluppo.

Bibliografia

G. Attolico, A. Distante, *Il riassemblaggio virtuale assistito di frammenti / Aided virtual recomposition of fragmented frescos*, in G. Basile, N. Giandomenico (a cura di), *Dall'utopia alla realtà. Notizie del cantiere dei dipinti in frammenti della Basilica Superiore di San Francesco in Assisi / From Utopia to Reality. Notebook on the restoration of the Upper Church of S. Francis in Assisi*, n. 2, Roma 2001, pp. 8-24, <www.icr.beniculturali.it/Restauri/Assisi/assisi2001.htm>.

N. Mosca, G. Attolico, A. Distante, *Un sistema automatico per la ricostruzione virtuale assistita di affreschi in frammenti / A digital system for aided virtual recomposition of fragmented frescos*, in G. Basile, N. Giandomenico (a cura di), *Dall'utopia alla realtà. Notizie del cantiere dei dipinti in frammenti della Basilica Superiore di San Francesco in Assisi / From Utopia to Reality. Notebook on the restoration of the Upper Church of S. Francis in Assisi*, n. 3, Roma 2001, parte V, pp. 1-12, <www.icr.beniculturali.it/Restauri/Assisi/assisi2001.htm>.

X. Zhang, B.A. Wandell, *Color Image Fidelity Metrics Evaluated Using Image Distortion Maps*, "Signal Processing", 1998, 70, pp. 201-214.

S-CIELAB: <http://white.stanford.edu/~brian/scielab/scielab.html>.

X. Zhang, D.A. Silverstein, J.E. Farrel, B.A. Wandell, *Color image quality metric S-CIELAB and its application on halftone texture visibility*, in Proceedings of *COMPCON'97*, San Jose California February 23-26 1997, pp. 44-48.

X. Zhang, B.A. Wandell, *A spatial extension to CIELAB for digital color image reproduction*, in SID Society for Information Display Symposium Technical Digest, 1996, vol. 27, pp. 731-734.

X. Zhang, *Spatial Color Fidelity Metric S-CIELAB*, Dissertation for the degree of Ph.D., Psychology dep., Stanford University, Stanford 1997.

F. Renna, L. Venturino, G. Attolico, A. Distante, *Spatial sensitive color metric in the virtual aided recomposition of frescos*, in D. Zhao, M.R. Luo, K. Aizawa (a cura di), Proceedings of SPIE *Photonics Asia 2002, Color Science and Imaging Technologies*, Shanghai 14-18 October 2002, vol. 4922-02.

F. Renna, L. Venturino, G. Attolico, A. Distante, *Perceptually grounded color evaluation in virtual aided recomposition of fragmented frescos*, in A. Shearer, F.D. Murtagh, J. Mahon, P.F. Whelan (a cura di), Proceedings of SPIE Regional Meeting *Opto-Ireland 2002, Optical Metrology, Imaging and Machine Vision*, Galway 5-6 September 2002, vol. 48877-20, session 3.