

Dig*Italia*

Anno VI, Numero 1 - **2011**

Rivista del digitale nei beni culturali

ICCU-ROMA



ICCU

Istituto centrale per il catalogo unico
delle biblioteche italiane e per le informazioni bibliografiche
<http://www.iccu.sbn.it>

Copyright © ICCU - Roma

La riproduzione totale o parziale del contenuto della rivista
è ammessa con obbligo di citazione

Applicazioni Digitali per l'Archeologia: il Restauro Virtuale

Massimo Limoncelli

Università del Salento, Scuola di Specializzazione in Archeologia "Dinu Adamesteanu"

Lo sviluppo delle tecnologie informatiche avvenuto negli ultimi due decenni ha portato alla nascita di nuove discipline caratterizzate dall'unione di metodologie e tecniche proprie delle hard sciences a quelle peculiari delle scienze umanistiche; questa sintesi rappresenta, soprattutto nel campo dell'archeologia e dell'architettura, un aggiornamento dei tradizionali studi sugli edifici e contesti antichi, portando numerose innovazioni nei tradizionali metodi di indagine. Tra queste nuove discipline si inserisce proprio il Restauro Virtuale; con questa espressione si identificano le metodologie integrate di Computer Graphic, sia bidimensionale che tridimensionale, finalizzate alla restituzione di un bene artistico, archeologico o architettonico nella sua completa, o quasi, integrità.

Il Restauro Virtuale rappresenta oggi una valida opportunità di analisi per archeologi, restauratori e storici dell'arte. Molte opere, infatti, non possono essere sottoposte a restauro, a volte per mancanza di soluzioni tecniche adeguate, a volte a causa di cattivi interventi precedenti, altre volte ancora per carenza di precise documentazioni che consentano di comprendere come l'opera possa essere ricostruita, in altri casi ancora per impossibilità fisica dell'intervento. In digitale è attualmente possibile disporre della massima libertà d'intervento per creare ipotesi di restauro per dipinti, affreschi, mosaici ma anche per architettura e oggetti tridimensionali. Attraverso elaborazioni digitali effettuate con programmi di computer graphic è possibile ottenere delle ricostruzioni virtuali a video o in stampa. Il restauro virtuale inizia oggi a trovare spazio nei centri di ricerca universitaria.

Nell'archeologia l'utilizzo sempre più diffuso di tecnologie digitali ha aperto nuove possibilità di ricerca, grazie soprattutto al passaggio dell'informatica da supporto per la gestione e la documentazione dei dati a strumento per la produzione e l'analisi degli stessi. Di conseguenza lo sviluppo delle tecnologie informatiche, avvenuto negli ultimi due decenni, ha portato in ambito archeologico alla nascita di nuove discipline caratterizzate dalla coniugazione di attività e metodologie di ricerca proprie delle *hard sciences* con quelle più tradizionali di estrazione umanistica: la *Virtual Archaeology* oppure, come si vedrà in seguito, il *Restauro Virtuale* (o digitale)¹.

¹ Juan A. Barceló – Maurizio Forte – Donald Sanders, *Virtual reality in archaeology*, Oxford: Archaeopress, 2010; *UT Natura ARS. Virtual reality e archeologia*. Atti della giornata di studi, Bologna, 22 aprile 2002, a cura di Antonella Coralini – Daniela Scagliarini Corlàita, Imola: University Press Bologna, 2007.

Queste nuove discipline sono entrate a far parte della ricerca archeologica dapprima con un ruolo didattico-divulgativo (ricostruzioni ideali di edifici, città e territori), e solo più recentemente con un fine conoscitivo, costituendo un aggiornamento dei tradizionali studi rivolti alla ricostruzione di manufatti antichi. In effetti, da questo nuovo ambito disciplinare sono scaturiti nuovi metodi di documentazione, archiviazione, fruizione e, infine, valorizzazione attraverso la predisposizione di materiali utilizzabili come base per opere di divulgazione sui vari media. In questo contributo si vuole porre l'accento sulle possibili utilizzazioni in ambito archeologico e storico-artistico delle potenzialità della realtà virtuale, privilegiando l'aspetto metodologico e scientifico piuttosto che meramente tecnologico.

Il restauro virtuale

Il restauro virtuale (detto anche *restauro elettronico* o *ripristino iconografico digitale*) nasce a metà degli anni Novanta nell'ambito del restauro delle opere d'arte mobili e fin da quando fu proposto ha causato un acceso dibattito terminologico dovuto all'associazione di due termini che, in effetti, possono apparire opposti². Se da un lato «la scelta di abbinare i due termini “restauro” e “virtuale”, è stata suggerita quale sintesi di un concetto che univa tecnica e finalità» poteva sembrare una soluzione efficace, dall'altro lato alcuni teorici del restauro lo hanno definito un “ossimoro”, non ritenendo opportuno denominare “restauro”, sia pure virtuale, «una tecnica che, operando sull'immagine del documento e non sull'originale, non ha le caratteristiche né gli scopi del restauro materiale»³, il cui obiettivo è intervenire sulla materia dell'opera per restituirle i caratteri di funzionalità, di estetica e di durevolezza nel tempo. Nonostante il dibattito terminologico, parlare di restauro e di virtuale significa ricondurre tutte le applicazioni e le potenzialità della realtà virtuale applicate ai beni culturali all'interno di metodi, regole e principi della conservazione e del restauro materiale, o scientifico moderno, del quale esso è figlio.

Conservazione Virtuale e Restauro Virtuale:

Secondo la letteratura del settore, la *Conservazione* contempla «l'insieme delle misure e degli interventi programmati e mirati a mantenere integra la condizione fisiologica e contestuale dei materiali costituenti il manufatto artistico accettandone il suo naturale declino»⁴. Il termine deriva dal latino *conservatio* e si riferisce all'esigenza di salvare dal decadimento, dalla rovina o, sul lungo periodo, dalla perdita un qualsiasi manufatto (sia esso di valore storico-artistico, archeologico, architettonico o paesaggistico) e comporta un'azione di tutela finalizzata al rispetto, alla protezione e alla custodia, al fine di trasmettere al futuro il patrimonio di valo-

² Domenico Bennardi – Rocco Furferi, *Restauro virtuale: tra ideologia e metodologia*, Firenze: Edifir, 2007.

³ Daniela Moschini, *Restauro virtuale. La tecnica per il recupero digitale delle informazioni nascoste*, «Kermes», 41 (2001), p. 46.

⁴ Cristina Giannini – Roberta Roani, *Dizionario del restauro e della diagnostica*, Firenze: Nardini 2000, p.54.

ri che quei determinati beni possiedono. Il *Restauro*, invece, nato con l'intento del recupero estetico delle opere, legato al gusto delle singole epoche, si rifà al concetto del termine latino *restauratio* che indica il rinnovamento, il rifacimento, il ripristino. Obiettivo finale di questo processo è la "restituzione" intesa come risarcimento, reintegrazione, ricollocazione di un'opera ad uno stato originario. In realtà, al restauro scientifico moderno si chiede di eliminare per quanto possibile le cause di degrado e di restituire leggibilità al processo di evoluzione storica di un manufatto. Il restauro rappresenta quindi un intervento di rallentamento dei processi di degrado patologici non altrimenti arginabili. I due termini, *conservazione* e *restauro*, sono tra loro opposti e si riferiscono, da un lato, alla necessità di tutela e "permanenza" dei beni e, dall'altro, contemplan la possibilità di "mutazione", sia morfologica che materiale, di un manufatto dallo stato precedente a quello successivo dell'intervento. Conservazione e restauro rappresentano il miglior compromesso per soddisfare da una parte l'esigenza di tutelare con minimi interventi l'integrità e l'autenticità del patrimonio archeologico e storico-artistico e dall'altra quello di trammetterlo alle generazioni future.

All'oggettiva difficoltà insita in questo binomio, si coniuga l'esigenza, non meno complessa, di associare a questi due termini la nozione di "virtuale", che, come si è detto, non implica una effettiva realtà materiale. In realtà il mondo virtuale (o digitale) non è affatto immateriale: «numeri, immagini, suoni e quant'altro viene prodotto su un computer devono essere intesi come un nuovo tipo di materialità, che ha una sua consistenza fisica e un suo dominio di appartenenza e di circolazione. Proprio come gli oggetti reali, i modelli tridimensionali e le immagini digitali esprimono una spazialità misurabile, esprimono valori fisici e cromatici, si possono trasformare in oggetti 'tangibili' attraverso le tecniche di prototipazione, ma quel che più importa, essi esistono»⁵.

I principi di *conservazione* e *restauro* sono assolutamente validi anche negli interventi che si eseguono in ambiente digitale, dove la *Conservazione Virtuale* può essere intesa come la simulazione di una conservazione "preventiva", in virtù della quale non si interviene direttamente sulla materia costitutiva dell'opera, ma si mantiene integra la fisicità dell'oggetto attraverso la prefigurazione di attività ed azioni legate alla sua preservazione nel tempo; tra queste è compreso il rilievo digitale che permette di lasciare indenne da qualsiasi intervento diretto il manufatto, offrendone una diversa e più agevole forma di classificazione e consentendo l'archiviazione digitale dei dati che ne derivano.

Il *Rilievo Digitale* è in primo luogo un'azione propedeutica a qualsiasi intervento di restauro; con questo si deve intendere il complesso di tutte le operazioni di misu-

⁵ Francesco Gabellone, *Metodologie integrate per lo studio ricostruttivo e la conoscenza dello stato attuale dei Beni Culturali*, in: *Il dialogo dei saperi, metodologie integrate per i Beni Culturali*, a cura di Francesco D'Andria – Daniele Malfitana – Nicola Masini – Giuseppe Scardozzi, Napoli-Roma: Edizioni scientifiche italiane, 2010, p. 497.

razione necessarie alla rappresentazione e alla restituzione metrica, in scala, su un supporto, appunto, digitale di un manufatto realizzato mediante tecniche di restituzione digitale basate sulle *image based technologies* (fotogrammetria o fotomodellazione) o sull'*engineering reverse (laser scanner)* che avviene senza un contatto diretto con l'oggetto, ma attraverso la mediazione di strumenti ottici, meccanici o informatici che restituiscono la rappresentazione dell'oggetto sotto forma di modelli tridimensionali o superfici bidimensionali poste all'interno di uno spazio cartesiano virtuale. I risultati generati da questo tipo di rilievo consentono – come si è detto – anche una diversa forma di archiviazione dei dati. Tra i vantaggi di questa metodologia è da annoverare la possibile replicazione dei dati, ma essa implica, dal punto di vista archivistico, tutta una serie di problematiche legate alla durata della memoria digitale, nell'ottica del mantenimento e della trasmissione di questi ultimi alle generazioni future. (Fig.1)

Per *Restauro virtuale*, invece, si può intendere l'insieme di metodologie integrate di *Computer Graphic*, sia bidimensionali che tridimensionali, finalizzate alla restituzione di un bene archeologico, architettonico o artistico nella sua completa, o quasi, integrità. In ambito archeologico il restauro virtuale può essere inteso non solo come modalità di ricostruzione ideale di un manufatto bensì come metodologia per la verifica e la sintesi dei dati analitici. In effetti, il restauro virtuale permette di ottimizzare la leggibilità dell'opera senza ricorrere ad interventi non reversibili sull'originale, e questo indipendentemente dalla tecnica esecutiva impiegata, dal supporto su cui è stata creata e dallo stato di conservazione; lavorando



Fig. 1: Matera, chiesa rupestre di S. Maria delle Croci, scansione laser (da Gabellone-Limoncelli 2011)

infatti su una immagine digitalizzata o su un modello tridimensionale, l'intervento non ha vincoli di sorta (incompatibilità, effetti collaterali, irreversibilità) legati al particolare materiale di cui è composta l'opera. Da questo punto di vista consente di prefigurare tutte quelle operazioni che si possono rivelare impraticabili se si dovesse intervenire direttamente sull'opera. Permette inoltre di visualizzare l'opera così come doveva essere, restituendole il valore di testimonianza storica della civiltà alla quale appartiene.

Il restauro virtuale non avviene, come spesso si può credere, nella massima libertà di azione nonostante si operi su un'informazione a carattere digitale che, per la sua stessa natura, può essere modificata, duplicata, ripristinata o cancellata, senza conseguenze o danni per il manufatto originario, ma avviene all'interno di regole e principi derivati dal restauro materiale scientifico: riconoscibilità, reversibilità, compatibilità e minimo intervento (Cesare Brandi 1963). Infatti, se da un lato le tecnologie informatiche consentono di interagire con i manufatti apparentemente senza vincoli, occorre specificare che per caratteristiche proprie il computer è uno strumento che «per la sua natura e il suo procedimento fondamentale è un macchinario che non inventa e non può inventare nulla, non può interferire con sue iniziative, modificare o interpretare, può solo constatare e restituire»⁶.

Le procedure di restauro virtuale, infine, possono avere un ruolo diretto negli interventi fisici, come forme di restauro guidato, fornendo elementi conoscitivi utili prima che il restauratore intervenga praticamente: un'adeguata programmazione al computer permette infatti di prefigurare, separatamente dall'originale, il risultato di un'operazione da attuarsi (o meno) sull'opera vera e propria, consentendo in alcuni casi di evitare un errato intervento concreto.

Il caso dei Buddha di Bamiyan

Un caso per molti versi emblematico dell'applicazione dei concetti di conservazione e restauro virtuale è rappresentato dalla vicenda accaduta ai famosi *Buddha* di Bamiyan, nella regione centrale dell'Hazarajat in Afghanistan. Le due statue, alte rispettivamente 38 m e 55 m, furono realizzate nel VI secolo d. C. ed erano le due più alte rappresentazioni mai realizzate raffiguranti, appunto, il *Buddha* in posizione eretta. Le figure, scolpite a bassorilievo in due enormi nicchie ricavate all'interno di una parete rocciosa in arenaria, erano rivestite di paglia e fango in modo da ricreare le complesse pieghe degli abiti ed erano dipinte di rosso con il volto coperto da maschere d'oro, scomparse già in età antica. Le due statue furono completamente distrutte nel marzo del 2001 per volontà del regime politico dei Taliban allora al potere in Afghanistan. In seguito all'operazione di polizia internazionale che portò alla caduta del regime e al reinserimento del paese nella comunità internazionale è stato avviato il dibattito relativo alla salvaguardia e alla valo-

⁶ Carlo Ludovico Ragghianti, *Capire l'arte col computer*, «Critica d'arte» 18 n.s., (1978), n. 160-162, pp.2-16: p.10.

rizzazione dell'enorme patrimonio culturale di cui l'Afghanistan è ricco. Sul caso specifico di Bamiyan furono proposte diverse ipotesi di restauro dei *Buddha* che spaziano tra le due opposte filosofie di chi sostiene, da una parte, una ricostruzione integrale delle due statue a da chi, invece, ritiene più opportuno conservare ciò che è rimasto anziché ricostruirli, fino all'ipotesi bizzarra proposta dall'architetto giapponese Yamagata che ha suggerito di puntare diversi *laser* sulle nicchie vuote per ricreare le forme delle statue con una visione in ologramma. In questo dibattito si inseriscono proprio le tecnologie digitali; infatti, precedentemente alla distruzione delle due statue ne era stata eseguita una scansione laser⁷. Il rilievo digitale, in questo caso, rappresenta oggi per Bamiyan l'unico metodo di conservazione, sebbene virtuale, di un manufatto perduto per sempre e offre uno strumento necessario per progettare qualsiasi ipotesi di restauro, compreso quello virtuale.

Campi di applicazione

Il restauro virtuale può essere applicato a tutti i campi della ricerca archeologica e può essere applicato alla ricostruzione di tutti i manufatti parzialmente conservati, dai monumenti ai reperti ceramici, dagli affreschi ai mosaici, dalle sculture fino ai documenti librari. A seconda della tipologia del manufatto sul quale si deve intervenire, il restauro virtuale si può suddividere in due filoni principali: la restituzione in 3D, basata sull'elaborazione di modelli tridimensionali, applicabile ad architetture, sculture, stucchi, reperti fittili o mobili e la restituzione bidimensionale, fondata sull'immagine digitale (*Image Based Processing*) alla quale si possono ascrivere le pitture murarie, su tela o legno, i mosaici e i documenti e materiali librari.

Architettura

Nell'ambito generale della disciplina, il restauro architettonico virtuale rappresenta l'argomento certamente più complesso: in effetti la restituzione di un manufatto architettonico compendia in qualche misura tutte le branche del restauro virtuale, dalla ricomposizione di contesti pittorici (affreschi, intonaci e stucchi dipinti) alla restituzione di elementi lapidei o lignei, dalle ceramiche fino al mosaico. Ciascuna di queste tecniche ha al suo interno autonome metodologie di intervento che devono sommarsi alla vera e propria restituzione in 3D dell'edificio. In archeologia, gli edifici sono spesso ridotti a livello di rudere con la conseguente perdita dei volumi, delle luci, dei rivestimenti, del contesto in cui era costruito. L'interazione tra il monumento reale, con i suoi spazi e percorsi benché mutilati, e realtà virtuale, con i suoi effetti ricostruttivi, costituisce una concreta possibilità di comprensione altrimenti assai difficile, come ad esempio lo studio dei rapporti tra volumi-spazi-

⁷ Georgius Toubekis - M. Jansen Michael, *Herhalt eines UNESCO Weltkulturerbes. 3D laserscan Dokumentation und virtuelle Rekonstruktion des Kleinen Buddhas von Bamiyan*, in: *Macht der Architektur-Architektur der Macht*, a cura di Ernst-Ludwig Schwandner - Klaus Rheidt, Darmstadt, von Zabern, 2011, p. 85-97.

percorsi e luci-ombre degli ambienti interni di cui spesso perdiamo la cognizione. Sotto il profilo metodologico il restauro virtuale segue un percorso che prende spunto dai principi del restauro architettonico reale e si articola in due fasi distinte ma complementari. La prima fase è rappresentata dalla documentazione dello stato attuale dell'edificio, e quindi consiste nell'acquisizione di tutte quelle informazioni ancora «reperibili sul corpo del monumento o comunque immediatamente connesse, non di meno fisicamente, ad esse o da questo desumibili»⁸: dati di scavo archeologico, individuazione dei singoli elementi architettonici, mediante rilievo diretto o indiretto, cioè la realizzazione di piante, prospetti, sezioni e superfici 3D secondo le diverse metodologie, dalla semplice triangolazione alle più precise tecniche di rilievo digitale come fotogrammetria, fotomodellazione e *laser scanner*⁹. A queste informazioni se ne possono aggiungere anche altre derivate da *fonti indirette*, cioè tutte quelle informazioni che possono essere ricavate dalla ricerca storica e quindi «non rintracciabili direttamente nel corpo vivo del monumento in esame»¹⁰ come fonti archivistiche o letterarie, fotografie, incisioni e stampe, dipinti, disegni, rilievi e plastici.

A seconda dello stato di conservazione, della posizione, della dimensione e della forma degli edifici, si possono applicare specifiche tecniche di rilievo. Una volta ottenute tutte le informazioni è possibile passare ad una seconda fase, che consiste nella trasformazione delle informazioni precedentemente ottenute in una restituzione 3D, attraverso l'elaborazione di uno o più modelli tridimensionali virtuali, detti «*modelli di corrispondenza del dato*», realizzati con la tecnica dell'*Hand Made Modeling* (modellazione primitiva, poligonale, *nurbs*, *subdivision surface*). I modelli di corrispondenza del dato possono essere definiti come tutti quei modelli che rappresentano il processo induttivo di elaborazione ed interpretazione di tutti i dati reperibili e riscontrabili, non soltanto da un'analisi diretta del manufatto architettonico, ma da tutte le informazioni reperibili da fonti indirette, quali fonti iconografiche, dati d'archivio, fotografie, incisioni e stampe, dipinti, disegni, rilievi e plastici. Esistono diverse tipologie di modelli di elaborazione del dato, ciascuno dei quali si ispira ai principi del moderno restauro architettonico ed è finalizzato alla comprensione di specifiche problematiche: dalla ricostruzione delle singole fasi cronologiche e costruttive alle analisi quantitative, dallo studio delle soluzioni costruttive alla comprensione e alla verifica delle sequenze statiche (Giovannoni 1946). Il processo di anastilosi virtuale avviene quindi attraverso un percorso che prevede una catena di passaggi ognuno dei quali caratterizzato dall'elaborazione di specifici modelli 3D attraverso i quali si devono evincere tutti i passaggi che

⁸ Massimo Carmassi, *Approcci metodologici, progetto di conservazione, Il Manuale del Restauro Architettonico*, coord. Luca Zevi, Roma: Mancosu, 2010, E 16.

⁹ Marco Bianchini, *Manuale di rilievo e di documentazione digitale in archeologia*, Roma: ARACNE, 2009.

¹⁰ Massimo Carmassi, *Approcci Metodologici cit.*, E 17.

percorsi e luci-ombre degli ambienti interni di cui spesso perdiamo la cognizione. Sotto il profilo metodologico il restauro virtuale segue un percorso che prende spunto dai principi del restauro architettonico reale e si articola in due fasi distinte ma complementari. La prima fase è rappresentata dalla documentazione dello stato attuale dell'edificio, e quindi consiste nell'acquisizione di tutte quelle informazioni ancora «reperibili sul corpo del monumento o comunque immediatamente connesse, non di meno fisicamente, ad esse o da questo desumibili»⁸: dati di scavo archeologico, individuazione dei singoli elementi architettonici, mediante rilievo diretto o indiretto, cioè la realizzazione di piante, prospetti, sezioni e superfici 3D secondo le diverse metodologie, dalla semplice triangolazione alle più precise tecniche di rilievo digitale come fotogrammetria, fotomodellazione e *laser scanner*⁹. A queste informazioni se ne possono aggiungere anche altre derivate da *fonti indirette*, cioè tutte quelle informazioni che possono essere ricavate dalla ricerca storica e quindi «non rintracciabili direttamente nel corpo vivo del monumento in esame»¹⁰ come fonti archivistiche o letterarie, fotografie, incisioni e stampe, dipinti, disegni, rilievi e plastici.

A seconda dello stato di conservazione, della posizione, della dimensione e della forma degli edifici, si possono applicare specifiche tecniche di rilievo. Una volta ottenute tutte le informazioni è possibile passare ad una seconda fase, che consiste nella trasformazione delle informazioni precedentemente ottenute in una restituzione 3D, attraverso l'elaborazione di uno o più modelli tridimensionali virtuali, detti «*modelli di corrispondenza del dato*», realizzati con la tecnica dell'*Hand Made Modeling* (modellazione primitiva, poligonale, *nurbs*, *subdivision surface*). I modelli di corrispondenza del dato possono essere definiti come tutti quei modelli che rappresentano il processo induttivo di elaborazione ed interpretazione di tutti i dati reperibili e riscontrabili, non soltanto da un'analisi diretta del manufatto architettonico, ma da tutte le informazioni reperibili da fonti indirette, quali fonti iconografiche, dati d'archivio, fotografie, incisioni e stampe, dipinti, disegni, rilievi e plastici. Esistono diverse tipologie di modelli di elaborazione del dato, ciascuno dei quali si ispira ai principi del moderno restauro architettonico ed è finalizzato alla comprensione di specifiche problematiche: dalla ricostruzione delle singole fasi cronologiche e costruttive alle analisi quantitative, dallo studio delle soluzioni costruttive alla comprensione e alla verifica delle sequenze statiche (Giovannoni 1946). Il processo di anastilosi virtuale avviene quindi attraverso un percorso che prevede una catena di passaggi ognuno dei quali caratterizzato dall'elaborazione di specifici modelli 3D attraverso i quali si devono evincere tutti i passaggi che

⁸ Massimo Carmassi, *Approcci metodologici, progetto di conservazione, Il Manuale del Restauro Architettonico*, coord. Luca Zevi, Roma: Mancosu, 2010, E 16.

⁹ Marco Bianchini, *Manuale di rilievo e di documentazione digitale in archeologia*, Roma: ARACNE, 2009.

¹⁰ Massimo Carmassi, *Approcci Metodologici cit.*, E 17.

portano alla restituzione finale. I modelli di corrispondenza si suddividono in diverse tipologie:

- *Modello dello “stato di fatto”*: è la restituzione 3D di tutte le strutture esistenti dell’edificio. Tale realizzazione avviene attraverso l’elaborazione dei dati ricavati dalle diverse tecniche del rilievo digitale (*Photogrammetry*, *Photomodelling* e *Laser scanner*);
- *Modello di ricomposizione*: con cui si esegue il riassettraggio di un monumento frammentario del quale si hanno le parti. In questo modello vengono visualizzate in contemporanea tutte le informazioni volumetrico-spaziali, sia delle strutture conservate *in situ*, sia di tutti gli elementi architettonici riferibili all’edificio (o ad una sua singola fase cronologica) rinvenuti in giacitura secondaria, in crollo o in posizione di reimpiego, che ora vengono ricollocati nella loro posizione originaria, cioè in giacitura primaria;
- *Modello di completamento*: vengono restituite e reintegrate tutte le parti mancanti delle strutture presenti nel modello ricomposizione, secondo il criterio della riconoscibilità. La ricostruzione delle parti non più esistenti è l’azione di modellazione, che può essere estremamente semplice o viceversa molto complessa, a seconda della percentuale di volume e della parte di struttura da reintegrare. In archeologia, la maggior parte degli edifici indagati si conservano a livello di rudere con la conseguente perdita di volumi concentrati nella parte superiore della fabbrica. Nello studio ricostruttivo, così come nella progettazione architettonica, sono proprio i sistemi di copertura a rappresentare la parte più complessa da interpretare e da restituire. Nella struttura di un edificio in effetti sono proprio le coperture a determinare le soluzioni costruttive adottate per sostenere le diverse spinte che gravano sulle murature in alzato e sulle fondazioni, come sulla scelta dei materiali da impiegare;
- *Modello di liberazione*: prevede la rimozione di superfetazioni ritenute di scarso valore storico-artistico; consente di realizzare, nel caso di un monumento dotato di una lunga continuità di vita, caratterizzato da usi, abbandoni, riusi, ampliamenti e contrazioni della fabbrica, una sequenza di modelli relativi alla restituzione di ogni singola fase cronologica;
- *Modello di edizione*: rappresenta il risultato finale del processo di restauro virtuale e prende spunto dal cosiddetto *restauro stilistico* teorizzato da Eugène Viollet-le-Duc, secondo il quale i monumenti dovevano essere riportati alla forma originale coerente, con tecniche e materiali usati nell’epoca del manufatto in cui la parte integrata non doveva essere percepita (Viollet-le-Duc 1869). (Fig.2)

Poiché la restituzione 3D è intesa come un contributo alla *conoscenza* di un edificio, appare fondamentale capire quando e perché ricostruire, e quale grado di affidabilità metodologica può avere un’ipotesi di ricostruzione. In primo luogo va ri-

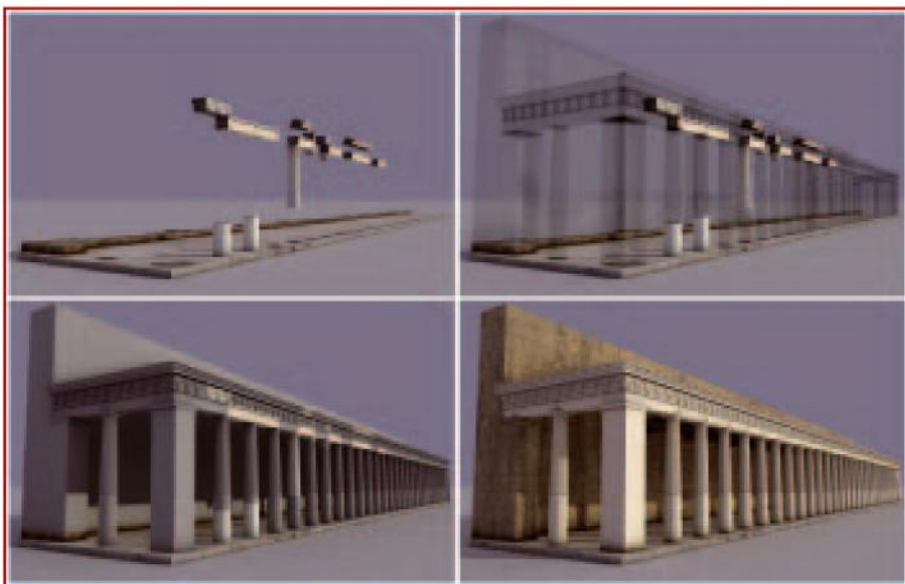


Fig. 2: Hierapolis di Frigia (Turchia), studio ricostruttivo della Stoà di Marmo, modelli di corrispondenza

cordato che non sempre è possibile, o vantaggioso, realizzare una ricostruzione per i manufatti architettonici¹¹. L'utilizzo di tecnologie informatiche, infatti, è utile solo quando si possono ottenere significativi incrementi d'informazioni sull'oggetto indagato. Ciò dipende dalla quantità, ma soprattutto dalla qualità dei dati disponibili che devono essere, quindi, riconosciuti, valutati e interpretati limitando per quanto possibile errori legati a questioni di metodo che potrebbero pregiudicare il risultato dell'indagine.

Sculture e rilievi

Lo stesso *iter* metodologico applicato all'architettura è valido anche nel caso del restauro virtuale delle sculture (a rilievo o a tutto tondo) o delle decorazioni a rilievo (stucchi) quale che sia il materiale costitutivo del manufatto: materiali lapidei, fittili, metallici o altro. In primo luogo va eseguita una restituzione 3D dell'opera attraverso tecniche di rilievo digitale (*Laser scanner* o *Photomodelling*); successivamente si interviene nella ricostruzione plastica attraverso l'integrazione delle parti mancanti (*rappicare*) o ri assemblando le diverse parti di uno stesso manufatto conservate separatamente, mediante tecniche di modellazione manuale come lo *sculpting* o la *subdivision surface*. Inoltre, per restituire una maggiore leggibilità dell'unità formale dell'opera si possono simulare puliture superficiali eliminando chiazze, venature, corrosioni, spaccature o fenditure oppure, nel caso di

¹¹ Cairolì Fulvio Giuliani, *L'edilizia nell'antichità*, Roma: NIS, 1990, p. 24.

manufatti rivestiti da pellicole pittoriche policrome, si possono eseguire azioni di ricoloritura e ringranature.

Reperti mobili

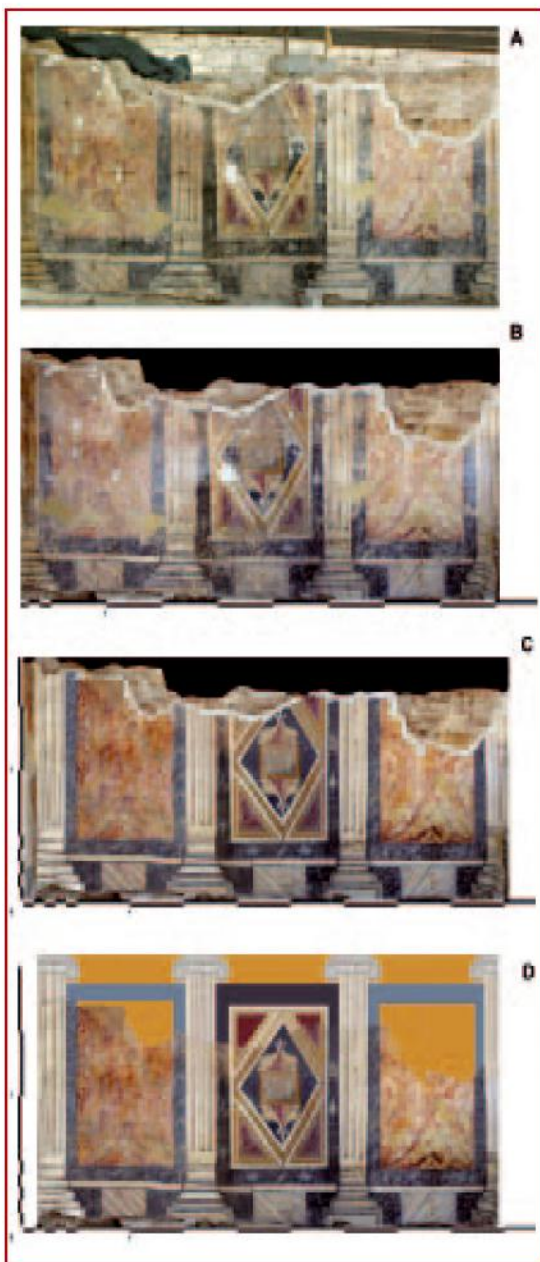
In questa categoria rientrano le ceramiche, i metalli, gli avori, i vetri e tutti i reperti mobili provenienti dallo scavo archeologico dei quali è possibile ricostruire sia le forme che le decorazioni attraverso metodi e tecniche già descritte.

Pitture e i mosaici

Nella problematica specifica del restauro delle pitture e dei mosaici il restauro virtuale è intimamente legato a tutte quelle operazioni preliminari, ma soprattutto addizionali, alla fase di stesura di un progetto di conservazione, secondo la filologia del restauro guidato. Il restauro virtuale consente una prefigurazione di tutte le operazioni di intervento fondata su tutte le potenzialità delle tecniche dell'*Image based processing* (fotoritocco) che permettono sia di interagire con l'opera mediante una totale libertà di intervento, sia di ripristinare la leggibilità e l'unità formale dell'opera senza tuttavia perdere di vista i principi ormai acquisiti del restauro tradizionale: riconoscibilità, reversibilità, minimo intervento e compatibilità. Stabiliti i principi entro i quali si deve operare, il restauro di pitture e mosaici deve seguire un *iter* procedurale preciso.



Fig. 3: Hierapolis di Frigia (Turchia), Casa del Cortile Dorico, restauro virtuale delle pitture parietali



Trattandosi di un intervento da attuarsi in ambiente digitale, la ripresa fotografica (da fotocamera o da *scanner*) e l'ottimizzazione dell'immagine risultano essere operazioni propedeutiche e allo stesso tempo fondamentali.

Per ottimizzazione si intende la valutazione dell'equilibrio tonale, il rapporto di luminosità e contrasto, la regolazione e il bilanciamento della gamma cromatica e, infine, il campionamento del colore. Inoltre, devono essere eseguiti anche il foto-rad-drizzamento e la scalatura dell'immagine sulla base di *terghet* o punti noti, le analisi quantitative sul calcolo delle lacune e delle percentuali di colore, la mappatura tematica con l'indicazione delle cause di degrado e degli interventi da eseguire. Successivamente alle operazioni di ottimizzazione e conoscenza dell'immagine si può operare il restauro virtuale vero e proprio delle superfici, realizzato secondo le diverse tecniche, dal "mimetico" al "sottotono", finalizzato al risarcimento, alla riparazione e alla ricostruzione

delle lacune dovute a distacchi e caduta della pellicola pittorica, graffi, macchie di umidità e altre cause di degrado. Infine, concluso il restauro virtuale si può procedere al successivo livello di intervento che precede la ricostruzione iconografica delle mancanze il cui obiettivo è il ripristino dell'unità formale e cromatica dell'intera opera pittorica. (Fig.3-4)



Fig. 4: Muro Leccese (LE), chiesa di Santa Marina, restauro virtuale di un affresco

In questo senso particolarmente interessante è stato il progetto curato dal CNR sui “Colori di Giotto” con cui, attraverso il supporto delle indagini scientifiche effettuate con le lampade fosforescenti e a luci radenti si è potuto individuare la cromia originale restituendo agli affreschi, tramite le tecnologie digitali, i colori e la compostità cromatica dei dipinti e la percezione originaria¹².

Edizione e visualizzazione scientifica

Il rischio maggiore che si corre nell'applicazione della *Virtual Reality* in ambito archeologico è, paradossalmente, che le tecnologie informatiche possano “svuotare” i contenuti delle discipline alle quali vengono applicate: si rischia cioè di ribaltare il rapporto in cui le tecnologie diventano non più lo strumento, quindi il mezzo, ma il fine della ricerca con l'ulteriore inconveniente che queste assumano il controllo della disciplina con la quale vengono a contatto divenendone in qualche misura l'elemento preponderante. Questi rischi sono stati efficacemente definiti come “*sindrome di Star Wars*” cioè quando le potenzialità di sviluppo di una tecnica prendono il sopravvento sui contenuti e “*sindrome da Cinecittà*” quando una ricostruzione virtuale rischia di imporsi solo per la sua capacità di suggestione¹³.

L'edizione e la rappresentazione del modello o dell'immagine ottenuta in seguito al restauro virtuale devono mettere in risalto i dati conoscitivi che vi sono contenuti attraverso forme di visualizzazione scientifica che consentano di leggere, riconoscere e verificare il contenuto informativo e conoscitivo del modello stesso. La visualizzazione scientifica è proprio «la trasformazione dell'informazione in forma percepibile»¹⁴ che deve aiutare il ricercatore nella comprensione dell'oggetto analizzato e l'utente a percepire la natura dell'informazione presente nei dati analizzati. «La percezione e la comprensione dipendono dalle capacità percettive, dalla cultura e dall'esperienza individuali. Le tendenze attuali della ricerca nel campo della visualizzazione scientifica mirano ad approfondire la comprensione del processo di visualizzazione al fine di poter utilizzare conoscenze di psicologia della percezione unitamente a tecniche di *graphic-design*, per intervenire nella progettazione di sistemi di visualizzazione sempre più efficaci»¹⁵. (Fig.5)

Lo sviluppo delle tecnologie digitali apre importanti prospettive per la restituzione di testimonianze monumentali distrutte o temporaneamente non accessibili, mediante la predisposizione di materiali utilizzabili come base per opere di divulgazione: un esempio particolarmente efficace di questo uso del restauro virtuale è rappresentato dal

¹² *I colori di Giotto. La basilica di Assisi: restauro e restituzione virtuale*. A cura di Giuseppe Basile, Cinisello Balsamo: Silvana, 2010.

¹³ Pietro G. Guzzo – Paolo Liverani, *La Virtual Archaeology e le istituzioni per la tutela e la fruizione, UT Natura ARS. Virtual reality e archeologia*. Atti della giornata di studi, Bologna, 22 aprile 2002, a cura di Antonella Coralini – Daniela Scagliarini Corlàita, Imola: University Press Bologna, 2007, p.12.

¹⁴ Antonella Guidazzoli – Maurizio Forte, *Archeologia e tecniche di eidologia informatica*, «Archeologia e calcolatori», 3(1992), p.37-76.

¹⁵ Ibidem

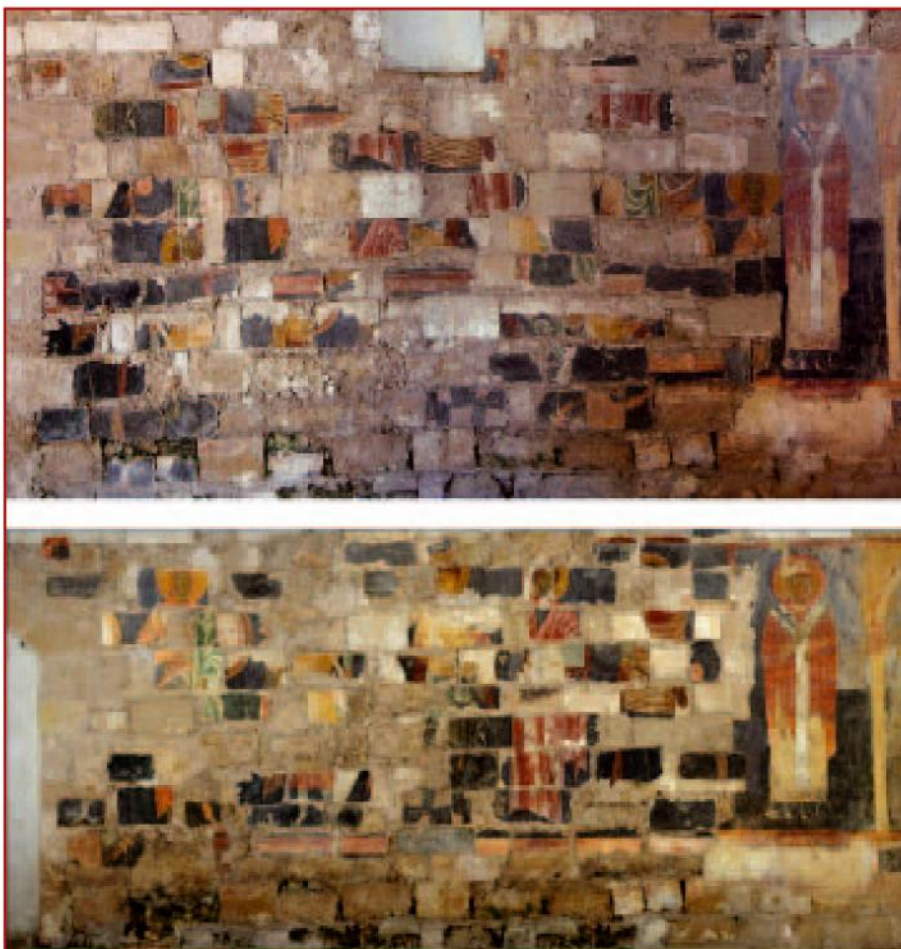


Fig. 5: Squinzano (LE), chiesa di Santa Maria di Cerrate, ripristino iconografico virtuale di un affresco (originale sopra, restauro sotto), (autore, dott. Donatella Fuzio)

Progetto del *Iraq Virtual Museum*, che rientra nel recente filone dei musei virtuali¹⁶. Il progetto, che ha visto coinvolti numerosi istituti di ricerca del CNR, era finalizzato alla valorizzazione e fruizione a distanza di beni relativi ad un patrimonio archeologico e artistico che in parte è andato distrutto in seguito a vicende belliche e che in parte è ancora conservato ma di difficile fruizione. Il progetto ha dimostrato come lo studio ricostruttivo di città, monumenti, oggetti e paesaggi attraverso tutte le potenzialità digitali, dal rilievo alla rappresentazione, con la messa a punto di modelli tridimensionali, completi di materiali e opere presenti al suo interno, trasferiti in sistema di *authoring* multimediale, in cui tutti i media disponibili sul bene in oggetto (audio, video, VRML, QTVR, VR *Object*, immagini, tabelle)

¹⁶ www.iraqvirtualmuseum.com; www.virtualmuseumiraq.enr.it/homeENG.htm

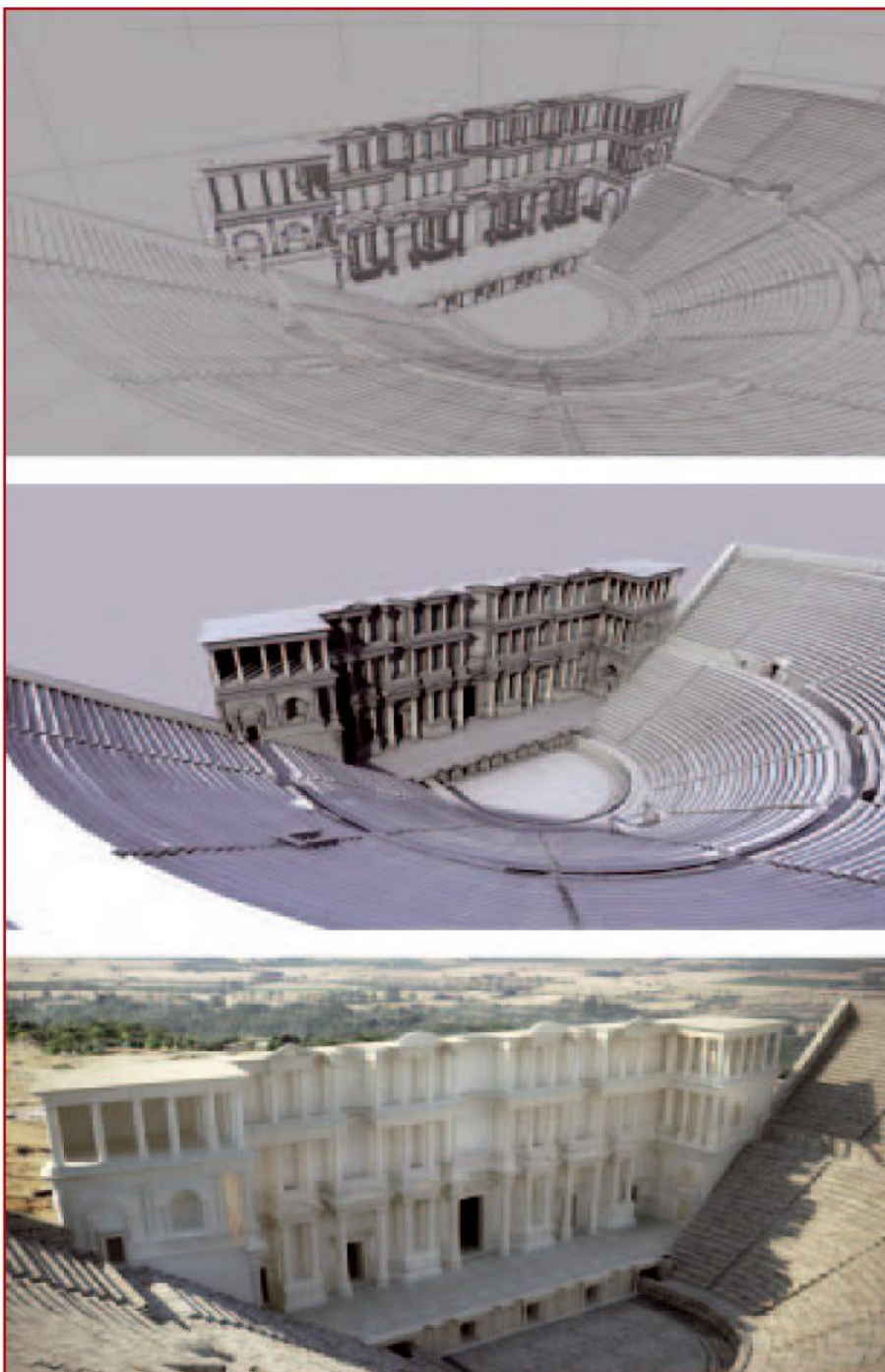


Fig. 6: Hierapolis di Frigia (turchia), studio ricostruttivo del teatro (da Masino-Sobra-Gabellone-Limoncelli 2011)

possono integrarsi in un ambiente di fruizione unico (un museo virtuale) che aggrega tutte le descrizioni di carattere storico-critico (inquadramento storico, rapporti con i contesti antichi, analisi esegetica) alle metodologie tecnico-scientifiche di visualizzazione dei contenuti¹⁷.

Il progetto Hierapolis Virtuale

Nell'ambito delle attività della MAIER - Missione Archeologica Italiana a Hierapolis è stata sviluppata, in collaborazione con il CNR Ibam di Lecce, una linea di ricerca finalizzata al restauro virtuale e alla restituzione tridimensionale degli edifici della città di Hierapolis di Frigia, in Turchia.

Il progetto, denominato "*Hierapolis Virtuale*", si è progressivamente strutturato nel corso delle ultime quattro campagne di scavo (anni 2007-2010) e nasce sulla scia di alcuni lavori eseguiti con tecniche di realtà virtuale realizzati negli anni precedenti, come lo studio ricostruttivo del Ninfeo dei Tritoni, nel 2004, e alcune scansioni *laser* di parte dei rilievi del teatro conservati nel locale Museo Archeologico, nel 2005.

La ricerca, coordinata dal direttore della Missione, Francesco D'Andria, è condotta presso l'Università del Salento da chi scrive e si avvale della collaborazione di architetti, archeologi, restauratori e studenti che lavorano nelle singole unità di ricerca di Università italiane e straniere. Tali istituzioni, che partecipano sul campo alle attività di scavi e restauro, hanno contribuito alla realizzazione del progetto, fornendo tutti i dati necessari. Nell'ambito del progetto "*Hierapolis Virtuale*" sono stati finora eseguiti complessivamente quattordici studi ricostruttivi di altrettanti edifici, altri ne sono programmati nel quadro delle prossime attività della Missione Archeologica¹⁸. (Fig.6)

I lavori finora svolti hanno riguardato solo gli edifici per i quali lo stato delle ricerche ha reso possibile un'ipotesi di ricostruzione. La realizzazione di modelli tridimensionali dei principali edifici di età romana, tardo-antica e medievale a Hierapolis è quindi dettato non soltanto da finalità divulgative o comunicative, ma soprattutto conoscitive: in questo senso il restauro virtuale non deve essere visto come una modalità di ricostruzione ideale di un manufatto architettonico, bensì come una metodologia per la verifica e la sintesi dei dati analitici acquisiti in sede di scavo.

¹⁷ Silvia Chiodi, *Iraq Project: the Virtual Museum of Bagdad*, in: *Virtual museums and archaeology. The contribution of the Italian National Research Council*, a cura di Paola Moscati, «Archeologia e Calcolatori», Supplemento 1, (2007), p. 101-122; Paola Moscati, *Archeologia e musealizzazione virtuale*, in: *Quale Futuro per l'Archeologia?* Workshop internazionale, Roma, 4-5 dicembre 2008, a cura di Anna Lucia D'Agata e Silvia Alaura, Roma: Gangemi, 2009, p. 189-200.

¹⁸ Francesco Gabellone – Giuseppe Scardozzi, *From the object to the territory. Image based technologies and remote sensing for the reconstruction of ancient contexts*, in: P.Moscati, *Virtual museums and archaeology*, cit., p. 123-142.

In attesa di una pubblicazione completa, una sintesi dei risultati della ricerca finora prodotti è stata presentata in appendice al volume *Architettura dorica a Hierapolis di Frigia* e nella brochure *Hierapolis Virtuale*, realizzata in occasione del Convegno Internazionale delle Missioni Archeologiche, svoltosi a Istanbul nel maggio del 2009¹⁹. Inoltre, alcune animazioni virtuali sono state utilizzate per il montaggio video di due documentari su *Hierapolis* prodotti dalla RAI: il primo, realizzato da Folco Quilici e trasmesso dal programma GEO & GEO nel maggio 2008, il secondo prodotto dal programma HERITAGE è stato diffuso nell'agosto 2009.

Analoghi studi sono stati condotti anche su altri importanti contesti archeologici come il progetto realizzato dal CNR-Itabc di Roma sul *Parco archeologico dell'Appia Antica*²⁰.

In questo specifico caso l'obiettivo è stato, partendo da un sistematico rilievo digitale di tutte le strutture archeologiche esistenti all'interno del parco, la ricostruzione tridimensionale non solo dei principali edifici, ma anche del paesaggio archeologico lungo l'antica via consolare. Successivamente è stato realizzato un sistema di realtà virtuale integrato, caratterizzato da sistemi di visualizzazione "immersivi" e "semi-immersivi", come teatri virtuali con sistemi di visione stereoscopica e interfacce "aptiche", mediante le quali è possibile, per gli utenti, interagire e controllare un mondo virtuale altamente definito (dal punto di vista visivo, tattile e uditivo), utile per una fruizione a distanza, laddove la sola visione di un video non è sufficiente all'utente per comprendere tutte le informazioni archeologiche che ora sono rese leggibili mediante tecniche di realtà aumentata²¹.

The development of information technology in the past two decades has led to the arising of new disciplines characterized by the joining of methods and techniques typical of hard sciences with those peculiar to humanities; particularly in the fields of archaeology and architecture this synthesis represents an updating of traditional studies relating to ancient buildings, thus introducing innovations in the traditional research methods. Virtual Restoration is just one of these new disciplines: this expression identifies integrated procedures of Computer Graphic, both two-dimensional and three-dimensional, aimed at the restoration of artistic, archaeological or architectural assets in their complete or nearly complete integrity.

¹⁹ Tommaso Ismaelli – Massimo Limoncelli, *Constructing Hierapolis. The contribution of virtual restoration to the understanding of ancient architecture*, in: *Atti del XV Symposium of Mediterranean Archaeology*, Oxford: BAR International Series, in corso di stampa.

²⁰ www.vhlab.itabc.cnr.it/appia

²¹ Forte-Pescarin-Pietroni-Dell'Unto: 2010, pp. 325-334.

Virtual Restoration represents a good tool for archaeologists, restorers and art historians. Actually, many artistic assets can't be restored because of a lack of appropriate technical solutions; because of previous bad restoration interventions; because of lack of an accurate documentation which allows to understand how an artistic asset can be rebuilt; because of the impossibility of a physical restoration intervention. With the help of digital techniques it is now possible to get great possibilities of intervention in creating restoring projects for paintings, mosaics but also for architectural works and three-dimensional objects. Through digital processing carried out with computer graphic programs you can get virtual reconstructions both on video or in print. Virtual Restoration is finding today a place also in university research centers.