

RICH: RESEARCH AND INNOVATION FOR CULTURAL HERITAGE

Vincenzo Barone*, Daniele Licari, Franco Maria Nardini

In-silico Developments for Emerging Applications (IDEA) Laboratory
Scuola Normale Superiore, Pisa, Italy

Keywords: cultural heritage, computational spectroscopy, virtual museum, 3D modeling, virtualization.

1. Introduction

Cultural heritage is a hot research topic from many different points of view. While important efforts have been spent in studying, preserving and conserving artworks from a historic/artistic point of view, others concentrate on developing tools to facilitate the work researchers carry out on them directly. Moreover, the “other side of the coin” in preserving and conserving artworks consists of promoting artworks. While preserving and conserving artworks involve all the activities aimed at preventing the aging effects that could affect a particular artwork and restoring it after it has been affected by aging, promoting artworks mainly focuses on maximizing the visibility of a particular artwork to the public. Cultural heritage is thus a cross-cutting field in which many different issues remain open. In particular, cultural heritage expresses at different times the need for i) a unified framework integrating all the different aspects, ii) a platform able to channel the many different workflows that exist in the field, iii) storing/collecting meta-data related to artworks, managing results from scientific analysis and graphically visualizing the whole set of information.

Some interesting experiences have previously been reported by researchers all around the world¹. One in particular, the Google Art Project aims at digitalizing paintings from the most important museums in the world. It presents a web-based user-friendly interface for browsing artworks. Images have been digitalized in a full HD format. Another interesting approach connected to our proposal is the “virtual museum”, where users are projected into a virtual reality so as to interact with the artworks. Here, the contribution is strictly related to the promotion of cultural heritage content enabling users to see artworks without physically being in the place where they actually are. Some interesting initiatives in this context include the “Virtual Museum of Canada”² and the “Virtual Museum of Japanese Arts”³.

Remarkable scientific efforts have been also spent in recent years. In [1], Wojciechowski *et al.* propose a system that allows museums to build and manage virtual and augmented reality exhibitions based on 3D models of artworks. Dynamic

* Corresponding Author: vincenzo.barone@sns.it

content creation based on pre-designed visualization templates allows content designers to create virtual exhibitions very efficiently. Virtual reality exhibitions can be presented both inside museums, e.g. on touch-screen displays installed inside galleries and, at the same time, on the Internet. Mourkoussis *et al.* discuss a novel set of metadata for describing cultural heritage objects and their digital representations, which is particularly useful for building virtual exhibitions [2]. The element set is based on several international standards and current best practice in museums.

Some prototypal systems have been developed in the past for collecting data coming from the cultural heritage scenario. Meyer *et al.* present the development of a virtual research environment dedicated to the exploitation of intra-site cultural heritage data [3]. The information system presented is based on open-source software. The system provides the opportunity to carry out exploratory analyses of the data, especially at spatial and temporal levels. It is also compatible with every kind of cultural heritage site and allows the management of diverse types of data. Authors propose some experimentation conducted on sites managed by the Service of the National Sites and Monuments of Luxembourg. Tsirliganis *et al.* develop a database for archaeological ceramic and glass artifacts [4], where in addition to digitized two-dimensional and three-dimensional images, typological characteristics and historical information, for each artifact it is possible to handle point-wise surface data, forming a GIS-like environment for cultural heritage objects.

In this paper, we describe RICH. Unlike the approaches described above, it is a first step toward the building of a unified framework for modeling the whole workflow of operations needed in studying, preserving and conserving artworks. In particular, we present an integrated platform for cultural heritage which aims to: i) resolve the current needs of cultural heritage researchers by providing interactive and friendly tools for managing data and ii) propose a new strategy of promoting cultural heritage thus finding new ways to benefit its users.

As far as we know, this is the first step toward unifying the study, the preservation and the promotion of artworks by means of the same framework. We shall present the ongoing efforts made at the *Scuola Normale Superiore* in realizing such a platform for: i) acquiring artworks and relevant metadata, ii) acquiring analysis, conservation and preservation techniques regarding artworks and materials, iii) storing them in a collaborative and shared platform, and iv) visualizing all the information in a new and friendly way. The architecture enables new ways of interacting with cultural heritage data by using state-of-the-art technologies such as 3D vision (3D cave – cave automatic virtual environment, home 3D, etc.), 3D printers and virtualization.

The platform we are going to describe is composed of several building blocks, allowing high-definition acquisition, high-throughput and virtualized storage, user-friendly management of data, and new visualization paradigms of data coming from different fields of cultural heritage.

The paper is organized as follows: Section 2 introduces the scenario we take as our reference while Section 3 outlines the architecture of the framework we are introducing. Section 4 then describes some initial experiences we have had with *RICH*. Finally, in Section 5 we present some conclusions and outline some future projects.

2. Cultural Heritage Scenario

The reference scenario we want to introduce is a description of the main actors who play a role in the cultural heritage scene. It is composed of three different actors: *owners*, *final users*, *researchers*. Whereas the cultural heritage *owner* physically owns a single artwork or a group of them (i.e., a museum, an art gallery, etc.) and is responsible for its maintenance and/or restoration, the *final user* clearly refers to people interested in enjoying a single artwork or a group of them. Finally, a *researcher* is someone who works on studying and preserving a particular artwork.

A first important consideration is that the reference scenario we introduce lacks interactions between the actors who work in it. It is potentially full of connections between different teams of researchers (studying a given artwork), the owner of the artwork and final users who may be interested in understanding what has been done on an artwork and how it looks like after a particular restoration. All these actors are apparently unrelated to the single operations performed within the scenario. The question is: “Is this really the case? Should we really consider all these actors separately or are they all part of the same scene?”. In our view, these actors are part of the same scene and we are convinced that, if they are empowered to interact with each other, they will all benefit in some way from this interaction. Our aim is thus to extend the reference scenario by introducing a new actor: the *content manager*. This is an entity whose main goal is to seek out and manage cultural heritage content and enable new ways of interacting to take place between the three principal actors. *RICH* is designed to be a *content manager*.

3. Architecture

This section gives a picture of the key building blocks composing *RICH* (see Figure 1), namely: i) acquisition, ii) storage and management, iii) sharing and virtualization, iv) visualization and reproduction. We describe the single boxes by following the “canonical” flow for the acquisition of an artwork (acquisition, processing and storage, output). In the following, the color of each arrow in the figure underlines a particular characteristic of the transition. Red arrows connect operations that can be “collaborative”. This means that both *RICH* and the user can contribute to it. Here, users are able to contribute to this particular phase with their own material (e.g., by uploading it). Blue arrows indicate that only *RICH* is in charge of the operation and the user can only see the result of the operation carried on by the infrastructure without contributing any additional material. Furthermore, green arrows indicate that the transition is virtualized, i.e., it can be used by interacting with *RICH* from Internet.

3.1 Acquisition

The *Acquisition* step relates to the acquisition of each single artwork. Here, we aim at building a high-fidelity model of the artwork that can be easily handled by any other block of the infrastructure. Different pipelines of acquisition can be interrogated. They range from metadata, multimedia content (including pictures, audio and video files), 3D modeling (i.e., output coming from a high resolution 3D scanner) to scientific data deriving from analyses carried out using different types of instrumentation (mass spectrometer, Raman spectrometer, computational modeling, etc.).

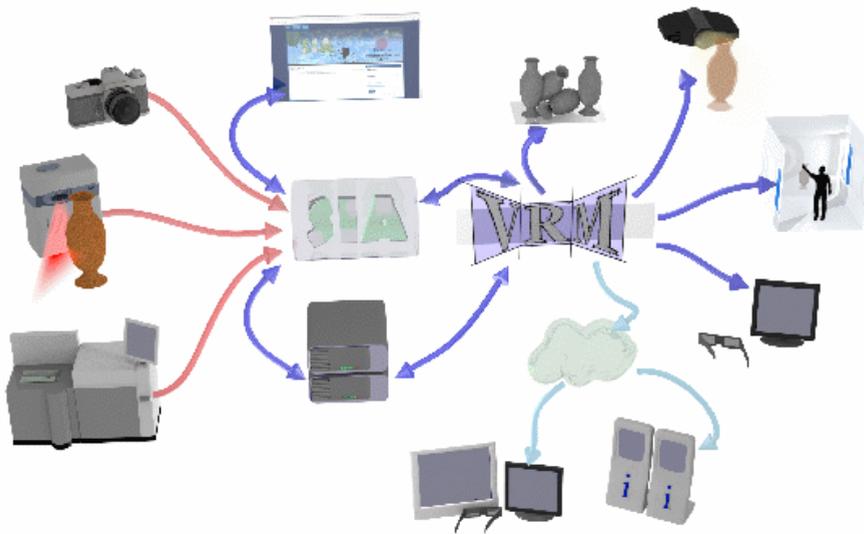


Figure 1. A bird's-eye view of RICH.

The single pipeline is always composed of three different steps: i) preprocessing, ii) acquisition, iii) postprocessing. Each of the three steps composing the pipeline is different w.r.t. the type of pipeline that has been interrogated (e.g., a 3D scanning process needs an artwork preprocessing that is different from the one requested in a scientific analysis employing a mass spectrometer). As Figure 3 shows, all the pipelines in the acquisition phase are defined by default to be “collaborative”. This means that the user is able to contribute to the acquisition with whatever material of his own that he considers important for storage in the infrastructure. Furthermore, pipelines could be customized to better suit users’ needs.

3D Modeling. Let us introduce an example to explain the acquisition process in detail. As mentioned above, the 3D modeling involves three steps. The preprocessing step, depending on how the artwork is composed (material, shapes, dimensions), consists of adding a anti-reflective material (i.e., in most cases a powder) on the artwork to prepare dark, highly-reflective, shiny or transparent materials. The process aims at increasing the quality of the scanning process. Furthermore, this step of the pipeline is responsible for enhancing the final acquisition by removing possible noise that may appear during the acquisition process.

The second step of the pipeline consists of building the 3D model of the artwork that has been preprocessed. By means of a 3D scanner, several acquisitions were performed, each one producing a “slice” of the artwork. The number of slices generated in this step strictly depends on two different factors: i) the complexity of the artwork under acquisition, ii) the resolution desired for the model. This acquisition phase has been modeled to be flexible, as it produces a set of 3D meshes that are saved and postprocessed in different formats.

The postprocessing step is done manually and is a crucial part, as it consists mainly in aligning the 3D meshes together in a single model. Furthermore, the result of the ac-

quisition could be an “open” mesh, where “open” means that some triangles are missing in parts of the model. In the postprocessing step, the whole 3D model obtained is made closed, i.e., triangles are added to obtain a closed solid. Furthermore, a second refinement of the model, aimed at simplifying it, is performed. The user in charge of this operation selects the parts of the model he wants to simplify by removing triangles. Like the previous ones, this operation is also crucial since it determines the overall quality of the final model and the lowest number of triangles [5].

Spectroscopic Data. Spectroscopic approaches play a central role among the many physical-chemical techniques currently applied to cultural heritage; this is due to their ability to provide extremely detailed information in a non-invasive fashion [6], making them particularly suitable for the study of unique artworks or archeological samples. In fact, optical, vibrational, and magnetic spectroscopic techniques allow the investigation of complex systems, as for example pigments embedded in complex molecular environments constituting support surfaces (e.g. paper, canvas, glass) and possibly incorporating other materials (e.g. sand, clay, gold leaf). However, analysis of the rich information from experimental studies is typically far from straightforward due to the complexity of the materials studied together, and more often than not, without knowing the exact composition of the sample. Thus, computational modeling plays an increasingly important role also in the field of cultural heritage, with the main goal of fostering integrated computational approaches which allow direct comparisons to be made between computed results and experimental spectroscopic findings [7, 8]. In this respect, both experimental spectroscopic data and results from computational spectroscopy simulations are provided in numerical format, easily stored within the RICH environment, providing scientists with integrated visual tools for handling such data (e.g. allowing a direct vis-à-vis comparison between them). This feature gives the interesting opportunity of analyzing particular effects, e.g. environmental influences to which the artwork has been exposed. For example, a UV-visible spectrum could be acquired experimentally by analyzing the artwork. This could then be compared with data from simulated spectra, e.g. for many different pigments, thus facilitating the analysis of pigment composition and possible interactions with external agents (pollutant, light irradiation). The highly advanced scientific tools included in *RICH* are also user-friendly, making computational spectroscopy studies [8] easily accessible to non-specialists. The methodology allows various phenomena which have occurred over the years to be detected, thus providing a deeper understanding of degradation processes in complex organic-inorganic pigments, and their rationalization in terms of molecular structure and interaction. The final aim of such an analysis is directly related to establishing effective and efficient protocols to preserve and/or restore artworks.

Optical properties of alizarin metal complexes represent a suitable test case. These well-known madder-lake pigments were widely used until the last century in paint and textile tincture and its synthetic lake pigment can be still found in contemporary works of art. Alizarin was well-known to artists as a fugitive color, whose final optical properties were strongly dependent on environmental conditions (e.g. solvation). This real life observation of color modifications caused by aging and exposure to pollutants have been confirmed by UV-Vis experimental analysis and computational studies to be largely related to pH changes (see Figure 2). Such preliminary studies underline the feasibility of an in-silico approach to analyze the factors responsible for color modifications, allowing us to better understand the changes that have affected both the

composition of the materials and their chromatic properties over the years. Bearing this in mind, the application of computational approaches can limit invasive interventions on the sample objects of cultural heritage interest, as well as providing detailed knowledge of the structural and electronic properties with a description of the degradation mechanisms. In addition, such studies can be seen as a first step towards a more rational employment of new dyes as well as a suitable tool for more powerful, stable and durable restoration works on historical art objects [9-11].

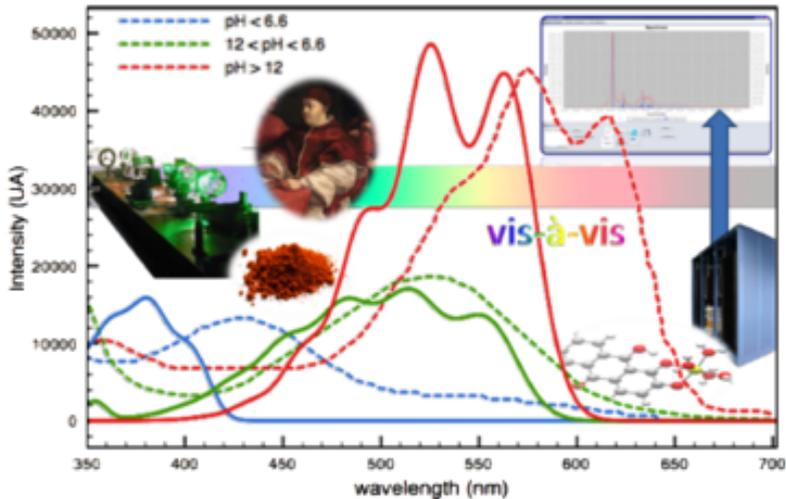


Figure 2. Direct vis-à-vis comparison of experimental (dashed-lines) and simulated (solid-lines) electronic absorption spectra for alizarin in different environmental (pH) conditions. Screenshot of the graphical-analysis-tool showing how the computed spectra are obtained from single vibronic contributions (determining the electronic band line-shape)

Such preliminary studies underline feasibility of *in silico* approach to analyze the factors responsible for the color modifications, allowing to understand changes that occurred over the years affecting both material

RICH is designed to be flexible and user-oriented. Each pipeline can be easily defined by following an abstract scheme reacting how the main blocks of this *Acquisition* step communicate. A user interested in defining a new pipeline of acquisition is in charge of highlighting the data formats coming from the pipeline and how they need to be stored in the architecture. We have developed a graphical tool to help users in defining the single blocks of a pipeline. In particular, by accessing this tool a user is able to request a new pipeline, to describe it, to define the interactions of the three steps composing it, and to explain which output of the pipeline has been made available for the next block of *RICH*.

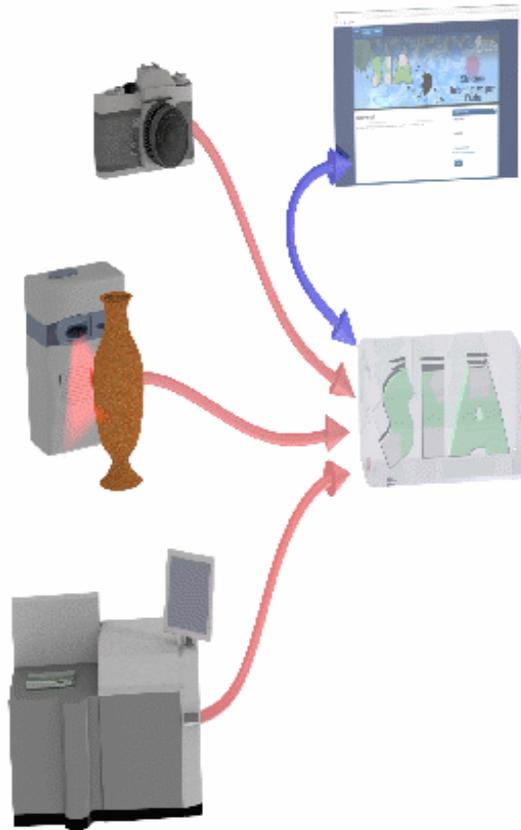


Figure 3. Main blocks of RICH comprising the Acquisition phase.

3.2 Storage and Management

This block of the architecture is in charge of storing and managing the information that has been acquired. The design of this block is central to the effectiveness and reliability of the entire architecture.

First, high-speed access with fail-safe capabilities on top of the data stack is necessary. This was achieved by using an enterprise NAS providing high-speed storage capacity on our system. To do so, an HITACHI enterprise storage server was used to store all the data from the *Acquisition block*. Our HITACHI enterprise NAS is able to store up to 256 TB of data with a throughput of 700MB/sec (see Figure 10). Then, a set of tools was designed, aimed at managing and enriching what was produced in the first step. This crucial part is done by *SIA*⁴.



Figure 4. Main blocks of RICH comprising the Storage and Management phase.

SIA: Sistema Informativo per l'Arte SIA is a collaborative Web 2.0 system enabling the management, the enrichment and the sharing of data stored in the infrastructure. Users that have been registered with the system are able to access a user-friendly environment for storing and sharing the information they have about different artworks.

The system has been designed so it can be accessed by a wide audience and different types of devices. In particular, the system is able to personalize itself on the basis of the user's browser information. For example, the language of the portal is automatically chosen by following the preferences previously expressed by the user within its browser. The tool has also been modeled to different categories of users: i) normal users, ii) art experts, iii) scientists. In general, whereas the normal user asks to view content stored in the platform and to interact with it, an art expert usually asks to edit contents, adding his studies and creating "semantic" links between different artworks. Finally, there is the scientist, who deals with the scientific contents related to the artworks: analysis, restoration, conservation, etc. SIA uses the user profile to build a personalized view of the data it stores. If a user is registered as a *normal user*, SIA will

provide him with a set of tools enabling an easy fruition of the contents in his browser.

On the other hand, if the user is an art *expert*, the system will provide him with tools which will enable him to enrich a given artwork with textual contents (in terms of different metadata), high resolution images, historical documents related to the artwork, the history of the movements of the artwork, and publications and other material covering its historical and artistic aspects. The scientific aspects are covered by scientists and in this regard the platform “actively” enables the association of analysis, restoration, and conservation data in an “active” way. The term “active” here means that after the data insertion phase, scientists are able to actively manipulate scientific data (e.g., spectra from different colour samples of a painting) with different available operations (comparisons, rescaling, etc.).



Figure 5. A screenshot of SIA.

3.3 Sharing and Virtualization

The huge amount of data that is collected by means of the two above steps represents an important source of data that needs to be enabled for many different applications. The *Sharing and Virtualization* block aims at doing that by means of *VRM* (*Virtual Reality Module*). *VRM* enables the output side of the overall architecture of *RICH*. The fruition and dissemination of the data is made available and collected and stored in the architecture. The first important way to enable the *sharing* of data is by means of *virtualization*. *VRM* converts the heterogeneous data that have been stored through different sources, into a single virtual view of information to be used by front end solutions such as applications, smartphone, 3D devices and portals. *VRM* enables

a “virtual layer” on the data. In particular, the “virtual layer” is a functionality that aims to use data stored in *RICH* without needing to be part of it. This is achieved by means of “cloud computing” technologies. Users that are registered as virtual members of *RICH* are able to connect to the architecture and read the data stored there. *VMR* provides this functionality (enabled by default) for all data stored in *RICH*.

The question we would like to answer now is: “Why does *RICH* need a virtual layer on data?”. *RICH* is a first step toward large-scale integration in the cultural heritage field. We have already claimed that such an architecture should be able to store data from artworks made available by its *owners*. An interesting observation is that, while artworks need to be physically moved from one place to another if an exhibition is organized for display to the public, this is no longer true for its digital model. *RICH* is thus developed to envision the concept of *virtual museum* by allowing the data to be visualized in different ways in a fully-distributed manner. By interacting with *RICH*, from the comfort of their homes, users will be able to request a *virtual museum* and the platform will take care of all the operations needed to export the content to their personal device (tablet, PC, home 3D). Moreover, *RICH* increases stronger co-operation among museums, since it enables them to share data, by exchanging them and making them available in different locations by means of 3D TVs or multimedia totems.

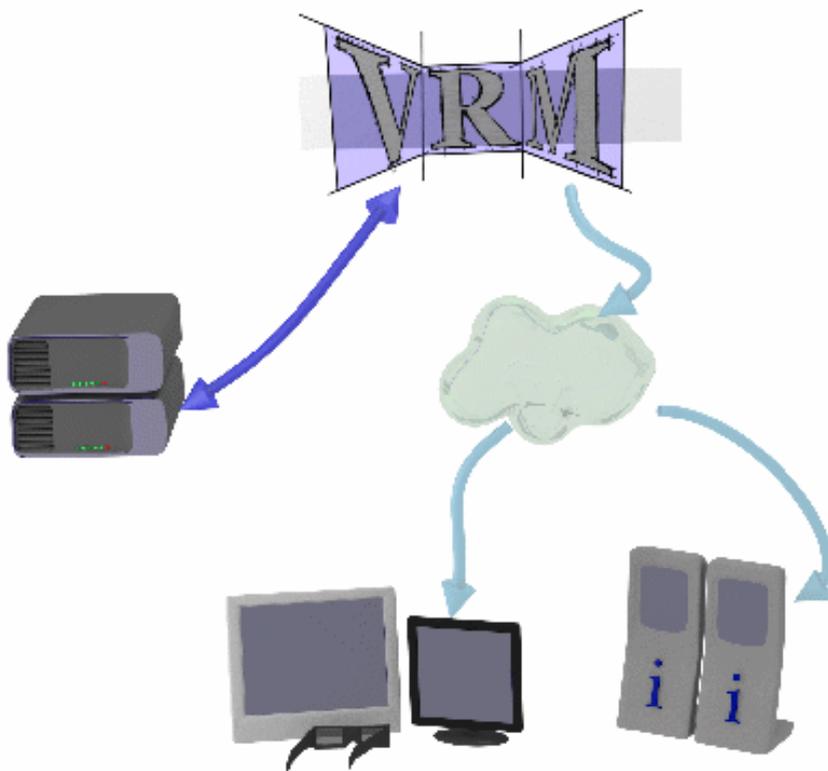


Figure 6. Main blocks of *RICH* comprising the Sharing and Virtualization phase. The “cloud” in the picture shows the virtualization layer that exposes data on the Internet.

3.4 Visualization and Reproduction

RICH has been also designed to answer several needs in terms of visualization and artwork reproduction. The visualization capabilities of *RICH* is one of the strongest points in the entire architecture. The whole process of acquisition and manipulation makes wide use of 3D modeling. The visualization part of *RICH* thus makes use of a full and user-friendly 3D virtual reality by means of a immersive 3D cave. By interacting with *SIA*, a user can enable the visualization of the artwork he is of the artwork he is manipulating in the 3D cave. In addition to the 3D cave, *RICH* makes use of a wide range of visualization technologies, such as stereo projection systems, web3D content management, 3D model software built for smartphones, trackers and wand interaction. Through these technologies, a user can manipulate the content offered by the *RICH* platform via smartphone or comfortably from home by means of an Internet browser or a 3D television. In particular, the *VRM* module supports a broad variety of virtual reality and stereoscopic display devices: i) 3D visualization on home 3D systems, ii) high-definition visualization on HD systems, iii) different output formats for 3D projectors. This means that the *VRM* module will process the request and produce the output of the 3D model by means of several 3D devices. *RICH* thus enables a completely functional 3D environment for dealing with artworks. The visualization of the artwork achieves “direct” interaction with it by the user. A user is thus able to virtually touch, move and play with it without need of the “real” artwork.

RICH is also able to perform a “reproduction” of the artworks. It is addressed by means of a complete automatic layer for building, from the 3D model of the artwork, a printable version of it that can be handled by a 3D printer. The process needs the user to ask *SIA* to print a 3D model of the artwork they are interacting with. After a preliminary check of the model available, *SIA* puts *VRM* in charge of the operation asking to print it. *VRM* will subsequently produce a printable version of the model that is then transferred to a 3D printer in charge of realizing it.

Note that not all the artworks on the *RICH* platform have a 3D model. In this case, by following a simple wizard on *SIA*, the user can get a flyer with pictures of the artwork of interest which also contains also metadata (e.g. title, description, etc.) about them. Then, the flyer can be exported from *SIA* as a PDF ready for printing.

4. Some Preliminary Experiences

Members of the *IDEA* laboratory⁵ have devoted great efforts to developing a first prototype of *RICH* which will be systematically updated following the classical “step-by-step” refinement scheme.

In its current implementation, all *RICH* blocks are available and talk to each other. Each of the different blocks are constantly refined to build a system within each block that is completely independent/autonomous and does not need human intervention. We tested the proposed system on several contemporary works of art. In particular, in particular, various data was acquired (in terms of scientific spectra, multimedia, HD images) from three different artworks by three contemporary artists. Where possible, a full 3D modeling of the artwork was produced. All the metadata related to the artworks was thus stored and managed (using *SIA*) and were made available “virtually” (see Figure 8) for a partner (University of Pisa) interacting with *RICH* remotely.



Figure 7. Main blocks of RICH comprising the Visualization and Reproduction phase.

Artworks

New Edit



Title	Tutto il mondo
Author	Keith Haring
Year (approx.)	1980
Description	L'opera è un grande dipinto murale (murales) realizzato sulla parete esterna della Chiesa di Sant'Antonio Abate a Pisa. Come indicato già dal titolo, il tema centrale è quello dell'armonia e della pace nel mondo, visibile attraverso i collegamenti e gli incastri tra le 20 figure che, come in un puzzle, popolano la superficie della parete del Convento di Sant'Antonio. Ogni personaggio rappresenta un diverso "aspetto" del mondo in pace: le figure "umanizzate" sono l'immagine della collaborazione concreta tra gli uomini per sconfiggere il serpente, cioè il male, che stava già mangiando la testa della figura accanto, la donna con in braccio il bambino rimanda all'idea della maternità, i due uomini che sorreggono il defunto al rapporto con la natura.
Placement	Site specific: parete esterna della Chiesa di Sant'Antonio Abate, Pisa.
Type	Painting
Dimensione	217 metri quadrati.
Technique/Materials	Il primo giorno disegna da sotto la linea di contorno nera, senza bozzetto preparatorio, per nei restanti giorni, aiutato da degli studenti e dagli artigiani della Capanni Center di Vicopisano, che ha fornito le vernici scegliendo delle tempere acriliche che potessero mantenere intatta la qualità dei colori per molto tempo, esegue la colorazione.

Invert by [artemio](#) on 2012-02-22

Conservations Analysis Interventions

Figure 8. An example of the preliminary experimentation conducted with SIA, showing a detail of the artwork with some metadata collected by art experts

We are currently testing the “Sharing and Virtualization” block developed in collaboration with the University of Pisa. Furthermore, the “Visualization and Reproduction” part has been deeply tested both for printing 3D models and for visualizing immersive virtual realities in the cave 3D.

We are currently testing the “Sharing and Virtualization” block developed in collaboration with the University of Pisa. Furthermore, the “Visualization and Reproduction” part has been amply tested both for printing 3D models and for visualizing immersive virtual realities in the 3D cave.

Small and medium companies in the province of Pisa (Art-test owned by Luciano Maras, Marwan Technology, Tertium Technology, etc.) are actively working with us on testing RICH by sharing their competencies regarding digital acquisition, diagnostic analysis, preventive monitoring and maintenance. A number of art experts from the *Scuola Normale Superiore* and scientists from the University of Pisa are involved in the project and are actively contributing to the historical/artistic part and to the acquisition of experimental data.

The National Museum of San Matteo⁶ in Pisa led by its Director, Dr. Dario Matteoni, is part of the RICH project. This museum is a unique entity in Italy, representing sacred art from 1200 to 1400. The virtual museum here gives tourists the opportunity to experience the medieval art of a city in a virtually reconstructed medieval context. The experimentation with RICH on such an important reality like the Museum of San Matteo, is a pilot project for all other museums in the province of Pisa, ranging from archeological to contemporary art. Efforts are being made with a view to promoting a fully integrated system of museums where tourists can be actively and virtually guided from ancient realities to contemporary ones.

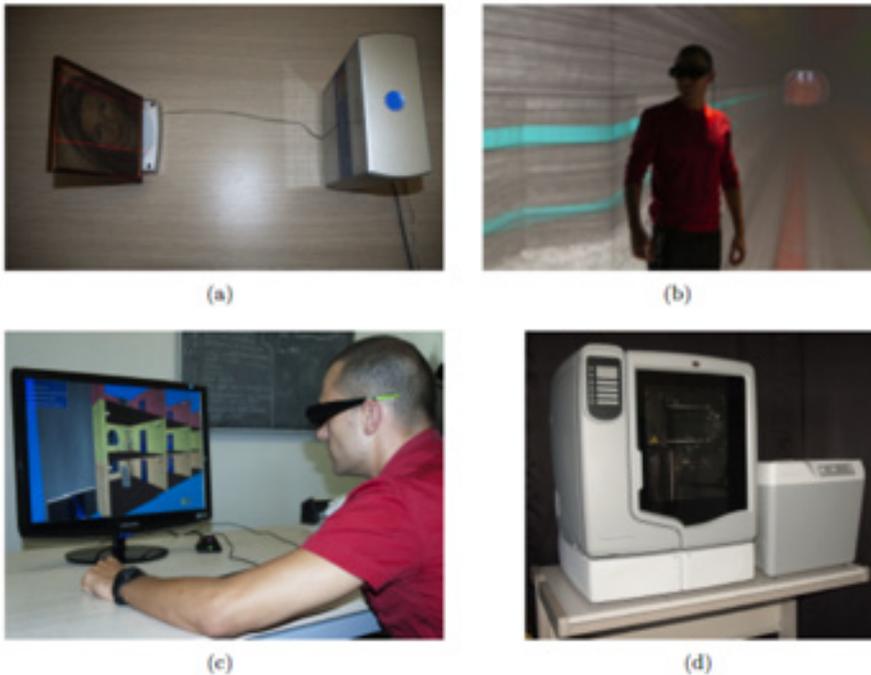


Figure 9. Some preliminary experiences of the IDEA team with RICH.

Figure 9 shows some preliminary experiences of the IDEA team with *RICH*. We propose four possible forms of interaction made available by the architecture. In particular, Figure 9(a) shows the 3D acquisition of an artwork. Details in the pictures show the lasers used by the scanner to build the 3D model of the artwork. Figure 9(b) shows the 3D cave and user interaction. We build a virtual reality environment dedicated to cultural heritage for guiding the development of the whole system. Figure 9(c) shows an output of *RICH* for a home 3D PC. Here, the user is wearing 3D glasses and the system produces a stereo output to enable its visualization on 3D monitors. Finally, Figure 9(d) shows the 3D printer for printing the models stored and managed by *RICH*. Moreover, Figure 10 shows some hardware resources used in the *RICH* infrastructure. The figure shows the computational power available in *RICH* (represented by the three clusters Pople, Zewail, Lehn). We also show a detail of the HITACHI storage server used for storing all the information made available in *SIA*. All these systems are replicated and protected by means of a UPS server.

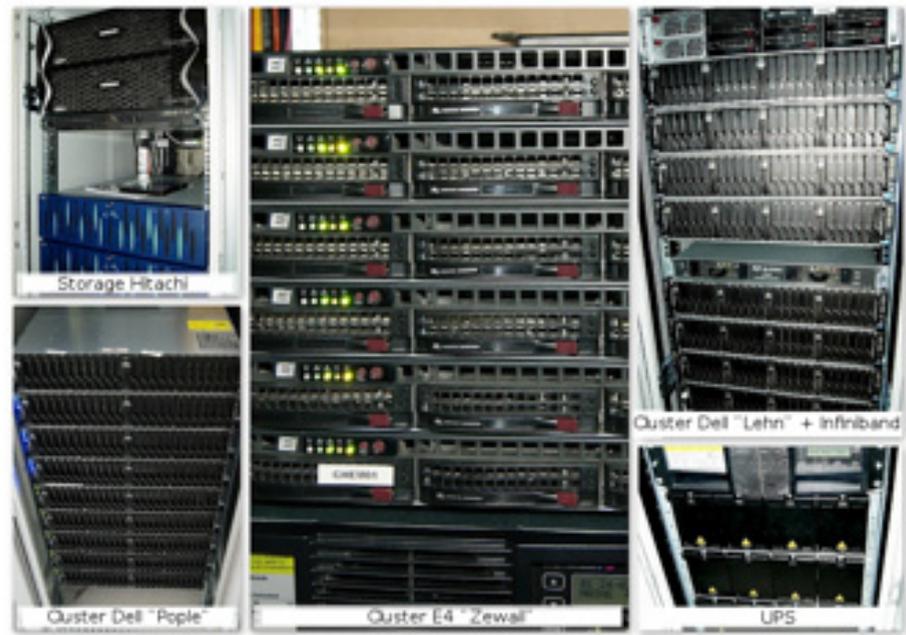


Figure 10: Hardware resources used in the *RICH* infrastructure.

5. Conclusions and Future Development

In this paper we have presented *RICH*, a new architecture conceived and developed at the *Scuola Normale Superiore* for collecting, promoting and sharing cultural heritage data. After defining a reference scenario, we observed that cultural heritage is a cross-cutting field with needs that have neither been developed to their full potential nor well integrated with each other. *RICH* is our first response towards full integration, as it addresses many different needs in the field by applying state-of-the-art technologies such as 3D vision and virtualization. We have outlined the main parts of the ar-

chitecture by designing and explaining each building block in terms of functionalities. We have also presented several preliminary experiences aimed at showing how the entire system works. For the future, we shall be investing significant efforts in extending *RICH* by adding new features and functionalities (e.g., storytelling functions guiding users in their virtual visits). Furthermore, we intend to invest time in optimizing the overall architecture in terms of response time.

Acknowledgements

We thank Prof. Perla Colombini (University of Pisa), Dr. Stefano Legnaioli (CNR-ICCOM, Pisa), and Prof. Maria Rosaria Tiné (University of Pisa) for useful comments and ongoing collaboration.

Notes

¹ <http://www.googleartproject.com/>

² <http://www.museevirtuel-virtualmuseum.ca/index-eng.jsp>

³ <http://web-japan.org/museum/menu.html>

⁴ <http://sia.sns.it>

⁵ <http://idea.sns.it/home>

⁶ <http://www.sbappsae-pi.beniculturali.it/index.php?it/146/pisa-museo-nazionale-di-san-matteo>

References

- [1] WOJCIECHOWSKI R., WALCZAK K., WHITE M., AND CELLARY W.. Building virtual and augmented reality museum exhibitions. In *Proceedings of the ninth international conference on 3D Web technology*, Web3D '04, pages 135–144, New York, NY, USA, 2004. ACM.
- [2] MOURKOUSSIS N., WHITE M., PATEL M., CHMIELEWSKI J., AND WALCZAK K.. Ams: metadata for cultural exhibitions using virtual reality. In *Proceedings of the 2003 international conference on Dublin Core and metadata applications: supporting communities of discourse and practice—metadata research & applications*, DCMI '03, pages 20:1–20:10. Dublin Core Metadata Initiative, 2003.
- [3] MEYER L., GRUSSENMEYER P., PERRIN J. P., DURAND A., AND DRAP P.. A web information system for the management and the dissemination of cultural heritage data. *Journal of Cultural Heritage*, 8(4):396–411, 2007.
- [4] TSIRLIGANIS N., PAVLIDIS G., KOUTSOUDIS A., PAPADOPOULOU D., TSOM-PANOPOULOS A., STAVROGLOU K., LOUKOU Z., AND CHAMZAS C.. Archiving cultural objects in the 21st century. *Journal of Cultural Heritage*, 5(4):379–384, 2004
- [5] COLIZZI L., 2003, *Projecting databases and information systems*, Conservation Science in Culturale Heritage, 3, pp. 85-92
- [6] BRUNETTO G. BRUNETTI, SGAMELLOTTI A., AND CLARK A. J.. Advanced techniques in art conservation. *Acc. Chem. Res.*, 43(6):693–694, 2010.
- [7] PEDONE A., BICZYSKO M., AND BARONE V.. Environmental effects in computational spectroscopy: Accuracy and interpretation. *ChemPhysChem*, 11:1812–1832, 2010.
- [8] BARONE V., BAIARDI A., BICZYSKO M., BLOINO J., CAPPELLI C., AND LIP-PARINI F.. Implementation and validation of a multi-purpose virtual spectrometer for large systems in complex environments. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2012.

- [9] COLIZZI L., ANDREA MARTINI A., CHIONNA F., 2010, *Augmented Reality Applied to the Diagnostics and Fruition of Cultural Heritage*, Conservation Science in Culturale Heritage, 10, pp. 195-208
- [10] LORUSSO S., MATTEUCCI C., NATALI A., CHINNI T., SOLLA L., 2011, *The Shroud of Turin between History and Science: an ongoing debate*, Conservation Science in Culturale Heritage, 11, pp.113-152
- [11] LORUSSO S., COMBA V., 2006, *E-learning in University: a case of study on cultural heritage*, Quaderni di Scienza della Conservazione, 6, pp. 39-57

RICH: ricerca e innovazione per il patrimonio culturale

Parole chiave: beni culturali, spettroscopia computazionale, museo virtual, modellazione 3D, virtualizzazione

1. Introduzione

Il patrimonio di beni culturali è un tema di ricerca molto affermato da diversi punti di vista. Mentre importanti sforzi sono stati spesi nello studio, nella prevenzione e nella conservazione di opere d'arte da un punto di vista storico/artistico, altri si concentrano sullo sviluppo di strumenti per facilitare il compito dei ricercatori che lavorano direttamente su queste ultime. Inoltre, l'altro lato "della medaglia" del restauro e della conservazione di opere d'arte consiste nel promuovere il bene stesso. Mentre la prevenzione e la conservazione delle opere d'arte coinvolgono tutte le attività mirando ad evitare e ripristinare gli effetti del tempo che colpisce una particolare opera d'arte, la promozione di opere d'arte si concentra principalmente sul massimizzare la visibilità al pubblico di una particolare opera.

Il patrimonio dei beni culturali è dunque un campo trasversale con molte questioni ancora aperte.

In particolare, i beni culturali esprimono, in tempi diversi, la necessità di 1) un quadro unitario di integrazione di tutti i differenti aspetti, 2) una piattaforma in grado di convogliare i flussi di lavoro che possono essere messi in campo, 3) una conservazione e/o raccolta dei metadati relativa ad opere d'arte, i risultati di gestione dall'analisi scientifica ed una visualizzazione grafica dell'intero insieme di informazioni. Alcune esperienze interessanti sono state fatte in precedenza da ricercatori di tutto il mondo. In particolare, l'Art Project¹ di Google mira a digitalizzare dipinti dei più importanti musei del mondo. Esso è costituito da un'interfaccia di navigazione interattiva per le opere d'arte. Le immagini sono state digitalizzate in un formato full-HD. Un altro approccio interessante è il "museo virtuale". Qui gli utenti sono proiettati in una realtà virtuale per interagire con le opere d'arte. In questo caso, il contributo è strettamente relativo alla promozione dei contenuti del patrimonio culturale che consente agli utenti di vedere opere d'arte senza fisicamente essere nel posto dove queste ultime in realtà si trovano. Iniziative interessanti di questo genere sono il "Virtual Museum of Canada"² e il "Museo Virtuale delle Arti Giapponesi"³. Importanti sforzi scientifici sono stati anche spesi negli ultimi anni. In [2], Wojciechowski et al. si propone un sistema che permette di costruire e gestire musei virtuali e mostre di realtà aumentata sulla base di modelli 3D. La creazione di contenuti dinamici sulla base di modelli di visualizzazione predefiniti permette ad un designatore di contenuti di creare mostre virtuali in modo molto efficiente. Le mostre di realtà virtuale possono essere presentate in modi diversi: direttamente all'interno di musei, ad esempio, tramite display touch-screen e, al tempo stesso, su Internet. Mourkoussis et al. discutono un set di metadati per la descrizione di oggetti del patrimonio culturale e le loro rappresentazioni digitali, il che è particolarmente utile per la costruzione di mostre virtuali [1]. Il set di elementi si basa su diversi standard internazionali e sullo stato dell'arte esistente nei musei.

In questo contributo descriviamo RICH. Si tratta di un primo passo verso la costruzione di un framework unificato per la modellazione del flusso di lavoro di tutte le operazioni necessarie per lo studio, conservazione e tutela del patrimonio di beni culturali. In particolare, presentiamo una piattaforma integrata per i beni culturali allo scopo di: 1) risolvere le attuali esigenze dei ricercatori del patrimonio di beni culturali, fornendo strumenti interattivi e facilmente fruibili per la gestione dei dati

e 2) proporre una nuova strategia di promozione del patrimonio di beni culturali permettendone nuovi modi di fruizione. A ciò che sappiamo, questo è il primo passo verso l'unificazione dello studio, la conservazione e la promozione di opere d'arte per mezzo dello stesso mezzo.

Verranno brevemente analizzati i passi che la Scuola Normale Superiore sta compiendo nella realizzazione di una tale piattaforma per: i) l'acquisizione di opere d'arte e dei relativi metadati, ii) l'acquisizione di analisi, tecniche di conservazione e preservazione sulle opere d'arte e materiali, iii) la loro memorizzazione in una piattaforma collaborativa e condivisa, e iv), la visualizzazione di tutte le informazioni tramite una presentazione nuova e amichevole. L'architettura consente nuove forme di interazione con i dati del patrimonio di beni culturali utilizzando tecnologie allo stato dell'arte, per esempio, di visione 3D (cave 3D, home 3D, ecc), di stampa 3D e di virtualizzazione.

La piattaforma che andiamo a descrivere è composta di vari elementi costitutivi, permettendo acquisizione ad alta definizione, memorizzazione ad elevate prestazioni, facile gestione dei dati, e nuovi paradigmi di visualizzazione di dati provenienti da diversi settori del patrimonio culturale.

Il resto del seguente articolo è organizzato come segue: la Sezione 2 introduce lo scenario che prendiamo a riferimento, mentre la Sezione 3 descrive l'architettura dell'architettura che stiamo introducendo. Inoltre, la Sezione 4 descrive alcune esperienze iniziali che abbiamo fatto con RICH. Infine, nella sezione 5 presentiamo alcune conclusioni e delineiamo alcune direzioni di lavoro future e promettenti.

2. Lo Scenario di Riferimento per i Beni Culturali

Lo scenario di riferimento che vogliamo introdurre consiste in una descrizione dei principali attori che interagiscono nell'ambito dei beni culturali. Esso è composto da tre diversi soggetti interessati: proprietari, utenti finali, ricercatori. Mentre il proprietario del bene culturale è chi fisicamente possiede un singolo gruppo o una opera d'arte (ad esempio, un museo, una galleria d'arte, ecc.) ed è responsabile della relativa manutenzione e/o restauro, l'utente finale si riferisce ad una persona che è interessata a fruire di singole o gruppi di opere d'arte. Infine, un ricercatore è la figura che lavora allo studio e alla conservazione di una particolare opera d'arte.

Una prima considerazione importante da discutere è proprio relativa allo scenario. Nello specifico, lo scenario di riferimento è carente di interazioni tra gli attori coinvolti. In particolare, lo scenario è potenzialmente ricco di connessioni tra diversi gruppi di ricercatori (interessati allo studio di certe opere d'arte), il proprietario delle opere d'arte e gli utenti finali che potrebbero essere interessati alla comprensione di ciò che è stato fatto su un'opera d'arte e come appare dopo un particolare restauro. Tutti questi attori sono apparentemente scollegati dalle singole operazioni che si sono portate avanti nello scenario.

La domanda ora è: "Dobbiamo considerare tutti questi attori veramente sconnessi o sono tutti parte della stessa scena?". Nella nostra visione, tutti questi soggetti fanno parte della stessa scena e siamo convinti che, se essi sono messi in grado di interagire tra di loro, essi stessi riceveranno tutti i benefici di questa interazione. Il nostro approccio mira dunque ad estendere lo scenario di riferimento con un nuovo attore: il content manager. Si tratta di un ente con il principale obiettivo di chiedere e gestire i contenuti provenienti dall'ambito "beni culturali" e di consentire nuovi modi di interazione tra i tre attori principali. RICH mira a essere un content manager.

3. Architettura

In questa sezione verranno delineati i blocchi principali che compongono RICH (vedi Figura 1). Le parti principali dell'architettura che stiamo per introdurre sono: 1) acquisizione, 2) memorizzazione e gestione, 3) condivisione e virtualizzazione, 4) visualizzazione e riproduzione.

Descriviamo ora le singole caselle seguendo il flusso "canonico" di acquisizione di un'opera d'arte (acquisizione, elaborazione e memorizzazione, visualizzazione). I colori di ciascuna freccia nella Figura sopra rappresentano una caratteristica particolare della transizione. Le frecce rosse indicano che il modello della transizione è "collaborativo". Ciò significa che sia RICH che l'utente possono contribuire ad esso. Nello specifico, gli utenti sono in grado di contribuire all'operazione con il proprio materiale (ad esempio, caricandolo nella piattaforma e rendendolo pubblico). Le frecce blu indicano che solo RICH è responsabile del funzionamento e l'utente può solo vedere il risultato dell'operazione esercitata dalla piattaforma, senza contribuire

con il suo materiale. Inoltre, le frecce azzurre indicano che la transizione è virtualizzata cioè, la funzionalità può essere utilizzata interagendo con RICH da Internet.

3.1. Acquisizione

La fase di acquisizione si riferisce all'acquisizione di ogni singola opera. Qui, puntiamo a costruire un modello ad alta fedeltà delle opere d'arte, che può essere facilmente gestito da qualsiasi altro blocco delle infrastrutture. In RICH, possono essere richieste differenti pipeline di acquisizione. Nello specifico, possono essere acquisiti metadati, contenuti multimediali (comprese immagini, file audio e video), modelli 3D (cioè, provenienti da uno scanner 3D ad alta risoluzione), fino ai dati scientifici dall'analisi provenienti da diversi tipi di strumentazione (spettrometro di massa, Raman, modellazione computazionale, ecc.). In particolare, i dati spettroscopici, ottenuti sia dallo studio sperimentale dell'opera d'arte che della simulazione dello spettro corrispondente usando i metodi della modellistica computazionale vengono forniti in formato numerico, che viene trasformato in formato grafico tramite gli strumenti computazionali integrati in RICH. Inoltre i due tipi di spettri possono essere confrontati dando la possibilità di analizzare relazioni proprietà-struttura o gli effetti dell'ambiente in cui si trova l'opera d'arte. Per esempio, lo spettro UV-visibile acquisito sperimentalmente analizzando un'opera pittorica può essere confrontato con dati computazionali di spettri simulati per diversi pigmenti, facilitando l'analisi della composizione del colorante impiegato.

La singola pipeline è sempre composta da tre diverse fasi: i) pre-elaborazione, ii) acquisizione, iii) post-elaborazione. Ciascuna delle tre fasi che compongono la pipeline sono dipendenti dalla pipeline stessa (ad esempio, una scansione 3D di processo richiede una pre-elaborazione grafica che è diversa da quella richiesta in una analisi scientifica impiegando uno spettrometro di massa).

Modellazione 3D. La fase di modellazione 3D si compone, come accennato in precedenza, di tre passi. La fase di pre-elaborazione, che dipende da come l'opera d'arte è composta (materiali, forme, dimensioni), consiste nell'aggiunta di un materiale anti-riflettente (ad esempio, nella maggior parte dei casi, una polvere) per le opere d'arte di materiale scuro ed assorbente, altamente riflettente, lucido o trasparente. Il processo mira ad aumentare la qualità del processo di scansione. Questo stadio della pipeline è inoltre responsabile di migliorare l'acquisizione finale eliminando possibili disturbi che possono comparire durante il processo di acquisizione.

La seconda fase del percorso, è costituita dalla costruzione del modello 3D delle opere d'arte precedentemente pre-elaborate. Per mezzo di uno scanner 3D, si eseguono diverse acquisizioni, ognuna delle quali produce una sezione del disegno. Il numero di sezioni acquisite in questa fase dipende strettamente da due fattori: i) la complessità delle opere d'arte sotto acquisizione, ii) la risoluzione desiderata per il modello. Questa fase di acquisizione è stata modellata per essere flessibile in quanto produce un insieme di mesh 3D che vengono salvate e post-elaborate in diversi formati.

La fase di post-elaborazione viene effettuata manualmente ed è una parte essenziale del processo di acquisizione in quanto consiste principalmente nell'allineare le mesh 3D tutte insieme in un unico modello. Inoltre, il risultato dell'acquisizione potrebbe consistere in una cosiddetta mesh "aperta". Con il termine "aperta", si indicano mesh 3D presentanti mancanze in parti del modello (sotto forma di insiemi di triangoli). Nello stadio di post-elaborazione, il modello 3D ottenuto è chiuso, cioè, i triangoli vengono aggiunti ad ottenere un solido chiuso. Inoltre, vi è una seconda fase di perfezionamento che mira alla semplificazione del modello. L'utente responsabile di questa operazione seleziona le parti del modello che vuole semplificare rimuovendo triangoli. Anche questa operazione, come le precedenti, è cruciale dal momento che determina la qualità complessiva del modello finale ed un minor numero di triangoli [5].

Dati Spettroscopici. Gli approcci spettroscopici giocano un ruolo chiave tra le molteplici tecniche chimico-fisiche applicate al contesto dei beni culturali. Ciò è dovuto alla loro abilità di fornire informazioni molto dettagliate senza esser invasivi [6]. Questo li rende particolarmente adatti per lo studio di oggetti "unici" come opere d'arte e campioni archeologici. Nello specifico, tecniche spettroscopiche ottiche, vibrazionali e magnetiche consentono l'investigazione di sistemi come, ad esempio, pigmenti contenuti in ambienti molecolari complessi costituiti dal materiale di supporto (ad esempio, carta, tela, vetro) e, al caso, che contengono altri materiali quali, ad esempio, sabbia, cenere e foglie d'oro. L'analisi della grande quantità di informazioni provenienti da studi sperimentali è tipicamente lontana dall'essere

semplice a causa della complessità dei materiali studiati e, considerando che la composizione del campione è il più delle volte sconosciuta. Perciò, la modellizzazione computazionale gioca un ruolo sempre più importante anche nel contesto dei beni culturali con l'obiettivo principale di promuovere approcci computazionali integrati che consentono comparazioni dirette tra risultati computati e evidenze sperimentali di spettroscopia [7,8]. Da questo punto di vista, sia la spettroscopia sperimentale che i risultati delle simulazioni di spettroscopia computazionale sono forniti in formato numerico, facilmente memorizzabile in RICH. RICH fornisce agli scienziati strumenti visuali integrati per la manipolazione di tali dati (ad esempio, consentendo una comparazione vis-à-vis diretta tra di essi). Questa ultima caratteristica di RICH fornisce l'opportunità di analizzare effetti particolari quali, ad esempio, le influenze ambientali a cui l'opera d'arte è stata esposta. Uno spettro UV-visibile può essere acquisito sperimentalmente con un'analisi dell'opera d'arte e poi comparato con dati di spettri simulati per vari pigmenti quindi facilitando l'analisi della composizione dei pigmenti e interazioni possibili con agenti esterni (agenti inquinanti, radiazione luminosa, ecc.). Gli strumenti avanzati forniti da RICH sono inoltre facili da usare, rendendo accessibili gli studi di spettroscopia computazionale [8] a non-esperti. La metodologia consente perciò di rivelare tutti i vari fenomeni che sono occorsi via via negli anni, la comprensione profonda dei fenomeni degradanti in pigmenti organici/inorganici complessi e la loro razionalizzazione in termini di struttura molecolare e interazioni. L'obiettivo finale di questa analisi è direttamente correlato alla definizione di protocolli efficaci ed efficienti sul restauro e la preservazione di beni culturali.

Le proprietà ottiche dei complessi metallici con alizarina rappresentano un caso di studio appropriato. Questi pigmenti ben conosciuti erano, infatti, molto usati fino allo scorso secolo in dipinti e tinture di tessuto. La versione sintetica può tuttora essere trovata in opere contemporanee. L'alizarina era ben conosciuta tra gli artisti come colore con proprietà ottiche finali strettamente dipendenti dalle condizioni ambientali (solvatazione). Queste osservazioni di modifica del colore causate da invecchiamento ed esposizione ad agenti inquinanti sono state confermate da analisi sperimentali UV-Vis e studi computazionali strettamente legati a cambiamenti del pH (vedi Figura 2). Questi studi preliminari sottintendono la fattibilità dell'approccio "in-silico" per analizzare i fattori responsabili delle modifiche del colore consentendo la comprensione dei cambiamenti che occorrono anno dopo anno sulla composizione dei materiali e le loro proprietà cromatiche. In quest'ottica, l'applicazione di approcci computazionali permette di limitare l'invasività dell'intervento sull'oggetto campione pur consentendo una conoscenza diretta delle proprietà strutturali ed elettroniche con una descrizione dei meccanismi di degradazione. Questi studi sono inoltre la prima opportunità verso un impiego più razionale dei colori e per l'ottenimento di lavori di restauro più duraturi e stabili su oggetti d'arte storici [9-11].

RICH è stato progettato per essere flessibile e orientato all'utente. Una nuova pipeline può essere facilmente definita seguendo uno schema astratto che riflette come i blocchi principali della fase di acquisizione comunicano tra loro. Un utente interessato a definire una nuova pipeline di acquisizione è chiamato ad evidenziare i formati di dati provenienti dalla pipeline ed a specificare come essi devono essere memorizzati nell'architettura RICH. Per far ciò, abbiamo sviluppato uno strumento grafico per aiutare gli utenti nella definizione dei singoli blocchi di una pipeline. In particolare, accedendo a questo strumento un utente è in grado di creare un'istanza di una nuova pipeline, descriverla, e definirne le interazioni delle tre fasi che la compongono, per poi spiegare qual è l'uscita della pipeline che viene resa disponibile per il prossimo blocco di RICH.

3.2. Memorizzazione e Gestione dei Dati

Questo blocco di architettura si occupa di immagazzinare e gestire le informazioni che sono state acquisite. La progettazione di questo blocco è fondamentale sia per l'efficacia che per l'affidabilità dell'intera architettura.

In primo luogo, abbiamo la necessità di un accesso ad alta velocità robusto ai guasti per i dati memorizzati. Ciò si è ottenuto utilizzando un enterprise NAS che consente la memorizzazione ad alta velocità sul nostro sistema. Noi usiamo uno storage HITACHI enterprise server che memorizza tutti i dati provenienti dal blocco di acquisizione. In particolare, il nostro NAS HITACHI è in grado di memorizzare fino a 256 TB di dati con un throughput di 700MB/sec (vedi Figura 10). In secondo luogo, si sono progettati e realizzati numerosi strumenti al fine di gestire e arricchire quanto è stato prodotto nel primo passaggio. Questa parte cruciale è svolta da SIA⁴.

SIA: Sistema Informativo per l'Arte

SIA⁴ è un sistema collaborativo Web 2.0 che consente la gestione, l'arricchimento e la condivisione dei dati memorizzati nell'infrastruttura. Gli utenti che sono registrati nel sistema sono in grado di accedere ad un ambiente "user-friendly" per archiviare e condividere le loro informazioni sulle opere d'arte del patrimonio dei beni culturali.

Il sistema è stato progettato per essere accessibile da un pubblico ampio e da diversi tipi di dispositivi. In particolare, il sistema è in grado di rimodularsi sulla base delle informazioni del browser dell'utente. Come esempio, il linguaggio del portale è automaticamente scelto seguendo le preferenze che l'utente ha già espresso nel suo browser. Lo strumento è stato modellato per essere utilizzato da diverse categorie di utenti: 1) gli utenti normali, 2) gli esperti d'arte, 3) gli scienziati. In particolare, mentre l'utente normale ha esigenze legate principalmente alla visualizzazione di contenuto memorizzato nella piattaforma e per interagire con essa, un esperto d'arte chiede di poter modificare il contenuto memorizzato, aggiungendo i suoi studi e la creazione di legami "semantici" tra diverse opere. Infine, lo scienziato si occupa di agglungere i contenuti scientifici relativi alle opere d'arte: analisi, restauro, conservazione, ecc.

SIA utilizza il profilo dell'utente per creare una vista personalizzata dei dati salvati. Se un utente è registrato come utente normale, SIA, gli fornirà un insieme di strumenti che consentono una facile fruizione dei contenuti nel proprio browser. Diversamente, se l'utente è un esperto d'arte, il sistema sarà responsabile della fornitura di strumenti necessari ad arricchire un'opera d'arte con contenuti testuali (in termini di diversi tipi di metadati), immagini ad alta risoluzione, documenti storici in relazione con l'opera d'arte, la storia dei movimenti di opere d'arte, pubblicazioni e altri materiali relativi agli aspetti storici e artistici delle opere d'arte. Inoltre, per gli aspetti specifici gestiti da scienziati, la piattaforma consente l'associazione di dati di analisi, dati di restauro e conservazione in modalità "attivo". Il termine "attivo" significa che dopo la fase di inserimento, gli scienziati sono in grado di manipolare attivamente i dati scientifici (ad esempio, da diversi spettri campioni di colori di un dipinto) con diverse operazioni disponibili offerte proprio dal sistema RICH (comparazioni, rescaling, ecc.).

3.3. Condivisione e Virtualizzazione

La quantità enorme di dati che sono raccolti mediante le due fasi di cui sopra costituisce una fonte importante di informazione che deve essere abilitata per molte applicazioni. Il blocco di "condivisione e virtualizzazione" si propone di farlo attraverso VRM. VRM realizza il blocco d'uscita della architettura RICH. Esso mette a disposizione la fruizione e la diffusione dei dati raccolti e memorizzati nell'architettura. Un primo modo che abilita la condivisione dei dati è attraverso mezzi di virtualizzazione. VRM converte i dati eterogenei, che sono stati archiviati da fonti diverse, in una unica visione virtuale di informazioni che possa esser utilizzata da soluzioni front-end, quali applicazioni smartphone, dispositivi 3D e portali. VRM crea uno "strato virtuale" (basato su cloud computing) sui dati. In particolare, questo "strato virtuale" è una funzionalità che intende utilizzare i dati memorizzati di RICH senza necessità di fare o essere parte di essa. Gli utenti che sono registrati come membri virtuali di RICH sono in grado di collegarsi all'architettura e leggere i dati memorizzati sfruttandoli nei modi e con la visibilità consentita. VRM espone questa funzionalità (attivata per default) su tutti i dati che sono stati memorizzati in RICH.

La domanda cui vorremmo rispondere adesso è: "Perché RICH ha bisogno di un strato virtuale sui dati?". RICH è un primo passo verso una profonda integrazione nel campo dei beni culturali. Abbiamo già sottolineato che tale architettura deve essere in grado di memorizzare dati da opere d'arte messe a disposizione dai suoi proprietari. Un' interessante osservazione da fare è che, mentre le opere devono essere fisicamente spostate da una parte all'altra per essere mostrate al pubblico durante una esibizione, questo non è vero per il modello digitale di esse. RICH è quindi sviluppato per prevedere il concetto di "museo virtuale". Esso, infatti, consente diversi modi di visualizzazione dei dati in un contesto completamente distribuito. Interagendo con RICH, un utente standosene comodamente seduto a casa sarà in grado di istanziare un museo virtuale e la piattaforma avrà la cura di eseguire tutte le operazioni necessarie per esportare il contenuto verso il dispositivo utilizzato (tablet, PC di casa e TV 3D). Questa funzionalità, su scala più ampia permette una forte cooperazione tra i musei consentendo di condividere i dati e quindi rendendoli disponibili in diversi luoghi per mezzo di TV 3D e/o totem multimediali.

3.4. Visualizzazione e Riproduzione

RICH è stato progettato anche per rispondere ad esigenze importanti in termini di visualizzazione e riproduzione grafica. Le funzionalità di visualizzazione dei *RICH* sono uno dei punti di forza di tutta l'architettura. L'intero processo di acquisizione e la manipolazione utilizza profondamente la modellazione 3D. La parte di visualizzazione di *RICH* usufruisce quindi della realtà virtuale offerta del teatro virtuale immersivo 3D (cave 3D) in corso di ultimazione presso la Scuola Normale Superiore. Interagendo con SIA, ad un utente è consentita la visualizzazione delle opere d'arte che sta manipolando nel cave 3D. Oltre al cave 3D, *RICH* fa uso di una vasta gamma di tecnologie di visualizzazione, come ad esempio, sistemi di proiezione stereo, gestione dei contenuti Web3D, software per la visualizzazione di modelli 3D per smartphone, trackers e interazione WAND.

Attraverso queste tecnologie, un utente può manipolare il contenuto offerto dalla piattaforma *RICH* via smartphone o comodamente a casa per mezzo di un browser Web o di una TV 3D. In particolare, il modulo VRM supporta una varietà di dispositivi di realtà virtuale e di visualizzazione stereoscopica: 1) visualizzazione 3D su sistemi home 3D, 2) visualizzazione su sistemi ad alta definizione full-HD, 3) diversi formati per proiettori 3D. Ciò significa che il modulo VRM elabora le richieste e produce in uscita la visualizzazione di un modello 3D mediante vari dispositivi 3D. *RICH* consente un ambiente completamente 3D funzionale per trattare con le opere d'arte. La visualizzazione di un'opera d'arte implica l'interazione "diretta" degli utenti con essa. Un utente è così in grado di toccare virtualmente, muoversi e giocare con l'opera senza la necessità di disporre dell'opera d'arte "reale" ma soltanto attraverso il modello 3D offerto dal sistema.

Tutto questo rispecchia le caratteristiche di un museo interattivo: non uno spazio classicamente dedicato alla conservazione di opere d'arte, ma un luogo attivo che offre informazioni, coinvolgimento emotivo e valore aggiunto all'esperienza di visita. In questo contesto, *RICH* si configura come una realtà volta a promuovere e "delocalizzare" i beni culturali sparsi nel territorio attraverso l'attivazione di un network tra enti museali utilizzando un'infrastruttura di rete e storage virtualizzati.

Attraverso questa nuova architettura si intraprende, quindi, un percorso di conoscenza e apprendimento basato non solo sull'esposizione passiva delle opere, ma su dispositivi tecnologici capaci di coniugare contenuto scientifico e coinvolgimento emotivo. Ciò al fine di fornire un'approfondita conoscenza dell'opera d'arte ed una fruizione fino ad oggi non pensabile. Il cave 3D, ad esempio, garantisce il pieno coinvolgimento dei sensi, e, tramite le più moderne tecnologie interattive che consentono l'immersione completa nella realtà 3D, diventa così possibile arricchire l'esperienza sensoriale della visita al museo, riducendone l'impatto antropico attraverso la virtualizzazione delle visite all'interno del CAVE 3D.

RICH è anche in grado di eseguire una "riproduzione" delle opere d'arte. Questo avviene mediante uno strato completamente automatizzato per la ricostruzione, a partire dal modello 3D dell'opera d'arte, di una versione stampabile di esso che può essere gestita da una stampante 3D. Il processo inizia con l'utente che chiede a SIA di stampare un modello 3D di un'opera o più opere selezionate. Dopo una verifica preliminare del modello disponibile, SIA rende VRM responsabile della stampa chiedendogli di stampare il modello rielaborato. VRM quindi produrrà una versione stampabile del modello che è in seguito trasferito a una stampante 3D incaricata di realizzarlo.

Si noti che non tutte le opere memorizzate in *RICH* hanno un modello 3D associato. In questo caso, seguendo una semplice procedura guidata, tramite SIA l'utente può ottenere un volantino con alcune immagini delle opere di interesse contenente anche i relativi metadati (ad esempio titolo, descrizione, ecc.). Il volantino ottenuto può essere poi esportato da SIA come PDF pronto ad essere stampato a colori tramite normale processo di stampa.

4. Alcune Esperienze Preliminari

I componenti del laboratorio IDEA⁵ hanno fatto grandi sforzi per realizzare un primo prototipo di *RICH*, il quale è stato sistematicamente aggiornato seguendo il classico schema di raffinamento step-by-step. Nell'implementazione corrente, tutti i blocchi di *RICH* sono disponibili e dialogano tra loro. Ciascuno dei diversi blocchi viene continuamente raffinato per costruire un sistema che, all'interno di ciascun blocco, è completamente indipendente dall'intervento umano.

Abbiamo testato la proposta di sistema nel caso specifico di alcune opere di

arte contemporanea. In particolare, si sono acquisiti dati diversi (in termini di dati spettroscopici, multimediali, immagini HD) provenienti da opere d'arte di tre artisti internazionali. Quando è stato possibile farlo, abbiamo prodotto una modellazione 3D completa dell'opera d'arte. Abbiamo così memorizzato e gestito (mediante SIA) tutti i metadati relativi alle opere d'arte e li abbiamo resi disponibili "virtualmente" (vedi Figura 8) per la fruizione esterna da parte di un partner progettuale (Università di Pisa).

Al momento è sotto test intensivo il blocco di "condivisione e virtualizzazione". Inoltre, è già cominciata la sperimentazione della parte di "visualizzazione e riproduzione" sia per la stampa di modelli 3D che per la visualizzazione immersiva di realtà virtuale all'interno di cave 3D.

Le piccole e medie imprese del territorio pisano (Art-test di Luciano Marras, Marwan Technology, Tertium Technology, ecc.) con le loro competenze nel campo dei rilievi digitali, delle analisi diagnostiche e del monitoraggio preventivo collaborano attivamente alla sperimentazione preliminare del sistema RICH. Fanno parte del progetto alcuni esperti d'arte della Scuola Normale Superiore e scienziati dell'Università di Pisa. Entrambi stanno attivamente contribuendo alla parte storico/artistica e all'acquisizione dei dati sperimentali.

Il Museo Nazionale di San Matteo di Pisa⁶ con il suo Direttore Dott. Dario Matteoni, aderisce al progetto RICH. Questo museo rappresenta un'unica testimonianza italiana dell'arte sacra del periodo dal '200 al '400. Il Museo Virtuale crea l'opportunità per il turista di rivivere l'arte medioevale in una città che ha ancora un contesto urbano medioevale ampiamente conservato. La sperimentazione di RICH applicata alla grande realtà del Museo di San Matteo si propone come progetto pilota per tutti gli altri musei del territorio pisano da quelli archeologici fino all'arte contemporanea nell'ottica della promozione di un sistema museale integrato nel quale il turista viene preso per mano e virtualmente guidato dalla realtà etrusca fino a quella moderna.

La Figura 9 mostra alcune esperienze preliminari effettuate dal gruppo IDEA con RICH. Proponiamo quattro possibili interazioni messe a disposizione dall'architettura. In particolare, la Figura 9 (a) mostra una acquisizione 3D di un'opera d'arte. Nel dettaglio le immagini mostrano i laser utilizzati dallo scanner per costruire il modello 3D del disegno. Figura 9 (b) mostra un utente che interagisce con il CAVE 3D dove costruiamo un ambiente di realtà virtuale dedicata al patrimonio dei beni culturale come guida per lo sviluppo dell'intero sistema. Figura 9 (c) mostra l'applicazione di RICH per sistemi home 3D. Qui, l'utente indossa gli occhiali 3D e il sistema produce un'uscita stereo per consentire la visualizzazione su un monitor 3D. Infine, la Figura 9 (d) mostra la stampante 3D per riprodurre i modelli memorizzati e gestiti da RICH. Inoltre, la Figura 10 mostra alcune risorse hardware utilizzate nell'infrastruttura RICH. La figura mostra la potenza di calcolo disponibile in RICH (rappresentata da tre cluster Pople, Zewail, Lehn).

Abbiamo anche un dettaglio del server di archiviazione HITACHI utilizzato per memorizzare tutte le informazioni rese disponibili in SIA. Tutti questi sistemi sono replicati e protetti per mezzo di un server UPS.

5. Conclusioni e Sviluppi Futuri

Abbiamo proposto RICH, una nuova architettura concepita e sviluppata dalla Scuola Normale Superiore per la raccolta, la promozione e la condivisione dei dati di beni culturali. Dopo aver definito uno scenario di riferimento, abbiamo ricordato che quello dei beni culturali è un campo trasversale con molte esigenze che sono poco integrate e sviluppate tra di loro. RICH è la nostra prima risposta verso una piena integrazione perché affronta molte esigenze differenti applicando tecnologie allo stato dell'arte come la modellazione e visione 3D e la virtualizzazione. In particolare, RICH rappresenta un sistema che abilita un nuovo modo di fruire dei beni culturali attraverso il concetto di "museo virtuale".

Abbiamo schematizzato le parti principali dell'architettura, progettando e descrivendo ogni blocco del sistema in termini di funzionalità. Abbiamo anche presentato alcune esperienze preliminari volte a mostrare il funzionamento dell'intero sistema.

Come sviluppi futuri, investiremo sforzi importanti per estendere RICH con le nuove caratteristiche e funzionalità (ad esempio, la guida auto-narrante che coinvolge e spieghi le opere agli utenti nelle loro visite virtuali). Inoltre, abbiamo intenzione di ottimizzare l'architettura complessiva in termini di efficienza (tempi di risposta, processing, ecc.).

Ringraziamenti

Ringraziamo la Prof.ssa Perla Colombini (Università di Pisa), il Dott. Stefano Legnaioli (ICCOM-CNR, Pisa), e la Prof.ssa Maria Rosaria Tinè (Università di Pisa) per gli utili commenti e la collaborazione in corso.

Notes

¹ <http://www.googleartproject.com/>

² <http://www.museevirtuel-virtualmuseum.ca/index-eng.jsp>

³ <http://web-japan.org/museum/menu.html>

⁴ <http://sia.sns.it>

⁵ <http://idea.sns.it/home>

⁶ <http://www.sbappsae-pi.beniculturali.it/index.php?it/146/pisa-museo-nazionale-di-san-matteo>

Summary

This paper describes RICH: a new architecture conceived and developed at the Scuola Normale Superiore, for collecting, promoting and sharing cultural heritage data. Starting with the observation that cultural heritage is a cross-cutting field of research where needs are often poorly integrated with each other, a new architecture is required, aimed at solving this integration issue. RICH provides a first step in this direction by addressing several needs in this field through state-of-the-art technologies such as 3D vision and virtualization. The paper outlines the principal building blocks of the architecture by planning and explaining each step in terms of functionality. We also report some preliminary experiences that are being carried out using this architecture.

Riassunto

In questo articolo descriviamo RICH: una nuova architettura concepita e sviluppata dalla Scuola Normale Superiore per la raccolta, la promozione e la condivisione di dati relativi ai beni culturali. Iniziamo con l'osservazione che i beni culturali rappresentano un campo di ricerca trasversale con tante necessità poco integrate tra di loro. Ne deriva la necessità di una nuova architettura volta a risolvere questo problema di integrazione. RICH risolve molteplici bisogni differenti mediante l'utilizzo delle più moderne tecnologie allo stato dell'arte come la visione 3D e la virtualizzazione. Si tratta di una prima risposta verso questa nuova direzione. Abbiamo tracciato le parti principali dell'architettura, progettando e spiegando ogni singolo blocco in termini di funzionalità. Riportiamo inoltre alcune esperienze preliminari che stiamo portando avanti con questa architettura.

Résumé

Dans cet article nous décrivons le RICH : une nouvelle architecture conçue et développée par la Scuola Normale Superiore pour la récolte, la promotion et le partage de données relatives aux biens culturels. Nous commençons par l'observation que les biens culturels représentent un domaine de recherche transversale avec de nombreuses nécessités peu intégrées entre elles. Il en dérive la nécessité d'une nouvelle architecture qui se tourne vers la résolution de ce problème d'intégration. RICH résout de multiples besoins différents moyennant l'utilisation des plus modernes technologies à l'état de l'art comme la vision en 3D et la virtualisation. Il s'agit d'une première réponse vers cette nouvelle direction. Nous avons tracé les parties principales de

l'architecture, projetant et expliquant chaque bloc en termes de fonctionnalité. Nous reportons en outre quelques expériences préliminaires que nous continuons avec cette architecture.

Zusammenfassung

In diesem Artikel beschreiben wir RICH: eine neue, von der "Universität Scuola Normale Superiore für die Sammlung, Förderung und Teilung von an Kulturgüter gebundenen Daten" konzipierte und entwickelte Architektur.

Wir beginnen mit der Beobachtung, dass Kulturgüter ein transversales Forschungsfeld mit vielen, untereinander wenig integrierten Erfordernissen repräsentieren. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, einer neuen, auf dieses Integrationsproblem abzielenden Architektur.

RICH löst von unterschiedlichen Seiten (nota della traduttrice: qui manca il sostantivo. Ho inserito il termine Seiten che secondo me rende cmq il senso) auftretende vielfache Bedürfnisse durch die Anwendung modernster und fachgerechter Technologien wie die 3D-Darstellung und Virtualisierung. Dies ist eine erste, in diese neue Richtung gehende Antwort. Wir haben die wichtigsten Teile der Architektur skizziert und hierbei jeden einzelnen Block hinsichtlich seiner Funktionalität entworfen und erklärt.

Darüber hinaus möchten wir einige Vorabfahrten anführen, die auf der Grundlage dieser Architektur weiter verfolgt werden.

Resumen

En este artículo se describe RICH: una nueva arquitectura concebida y desarrollada por la Scuola Normale Superiore para recoger, promover y compartir datos relativos a los bienes culturales. Empezamos observando que los bienes culturales representan un campo de investigación transversal con muchas necesidades poco integradas entre sí. Por tanto hace falta nueva arquitectura dirigida a solucionar este problema de integración. RICH satisface múltiples exigencias diferentes mediante el uso de las más modernas tecnologías como la visión 3D y la virtualización. Se trata de una primera respuesta hacia esta nueva dirección. Hemos definido las partes principales de la arquitectura, diseñando y explicando cada bloque desde el punto de vista de la funcionalidad. Se ilustran además algunas experiencias preliminares que estamos realizando con esta arquitectura.

Резюме

В данной статье описывается новая архитектура, рожденная и разработанная в "Скуола Нормале Супериоре" для сбора, продвижения и обмена данными относительно культурного наследия. Начинаем с наблюдения о том, что культурное наследие представляет собой поле межпредметного поиска с многочисленными потребностями слабо интегрированными между собой. Отсюда вытекает необходимость новой архитектуры, призванной разрешить проблему этой интеграции. RICH отвечает многочисленным и разнообразным нуждам благодаря использованию современнейших технологий, таких как 3D и виртуализация. Речь идет о первом предложении в области этого нового направления. Нами намечены главные части архитектуры, спроектирован и объяснен каждый отдельный блок в

плане его функциональности. Мы приводим также некоторый предварительный опыт, который продолжаем разрабатывать в этой архитектуре.

Ամփոփում

Այս հոդվածում մենք նկարագրում ենք RICH-ը, մի նոր ճարտարապետություն մտածված և մշակված Բարձրագույն Նորմալ Դպրոցի կողմից (Scuola Normale Superiore, Pisa) այն տվյալների հավաքման համար, որոնք նպաստում են մշակութային ժառանգության արդյունքների փոխանակման, աջակցության: Մենք սկսում ենք քննարկելով, որ մշակութային ժառանգությունը ներկայացնում է բազմաթիվ կարիքների մի ընդմիջական հետազոտության գիծ որոնք վատ ինտեգրված են միմյանց հետ: Հետ և աբար անհրաժեշտ է մի նոր ճարտարապետություն այս խնդիրը լուծելու և ինտեգրման համար: ՌԻՉը (RICH) լուծում է բազմաթիվ տարբեր կարիքները, օգտագործելով արվեստի տեխնոլոգիաների վերջին նորությունները, ինչպիսիք են 3D տեսիլքը եւ վիրտուալիզացիոն: Սա առաջին արձագանքն է այս նոր ուղղությամբ: Մենք ուղեգծեցինք ճարտարապետության հիմնական մասերը, պլանավորելով և բացատրելով ամեն մի առանձին կտորի գործունեությունը: Բերում ենք նաև որոշ նախնական փորձարկումների օրինակներ օգտագործելով այդ ճարտարապետությունը: