

# AUGMENTED REALITY APPLIED TO THE DIAGNOSTICS AND FRUITION OF CULTURAL HERITAGE

**Lucio Colizzi\*, Andrea Martini, Francesco Chionna**

Centro di Progettazione, Design & Tecnologie dei Materiali (CETMA), Brindisi

*Keywords:* augmented reality, virtual reality, data fusion

## 1. Introduction

The term “Augmented Reality” (AR) is used to define integrated hardware and software technologies, designed to mix video footage taken by a camera, with three-dimensional virtual objects. The result is a mix between real reality and virtual reality. Many applications of this technology are being introduced into the field of cultural heritage, and are being developed for use in specialized contexts, such as in certain phases of the diagnostic process or its fruition.

The basic algorithmic approach for augmented reality starts from a video stream analysis that incorporates a real scene. Within the same scene are scattered a set of known geometric images called “markers”. When the software module in charge of the video flow analysis identifies a marker within the scene, it tries to position it in relation to a reference system integral with the chamber which performs the video shoot, and then replaces it in real time, overlapping with a 3D model achieved through a virtual modeling software.

The need to address an ever-increasing audience means these new technologies should be employed in a dual role. The first directed at the needs of professionals and experts (historians, archaeologists, curators, etc.), and the second at the needs of end-users, that is to say, the general public. The possibility of providing a tool, which on the one hand emerges as a technical instrument, so that experts can perform an essential part of their institutional work, and on the other as an instrument to be used in an educa-

---

\* Corresponding author: e-mail [lucio.colizzi@cetma.it](mailto:lucio.colizzi@cetma.it)

tional context is important. In other words, it means bringing the public closer to, and increasing their level of understanding of works which until today were difficult to approach, an important aspect, considering the vast majority possess little expert knowledge in this field.

The aim of this article is to appraise the state of the art augmented reality and then examine several experiments involving its application in the field of cultural heritage.

## 2. Augmented reality technology

The main hardware components of an AR system are: display (Head Mounted Displays or Handled displays), tracking, input devices, and computer. The display allows us to view the content. The tracking system can locate, with precision, a specific point in real space, while the PC can run computer vision algorithms that enable the composition of the virtual scene.

Augmented reality systems can interact with digital prototypes requiring the use of a human movement tracking system. Devices used for tracking are different and the choice depends on many factors such as the field of application, environmental conditions of use and available budget. The most commonly used are generally: digital camera, optical sensors, electromagnetic sensors, rfid, wireless sensors and GPS.

In the following section we describe a typical augmented reality system used to acquire, process and display data for the enhancement of cultural heritage. The instruments normally used for these systems require the use of the following subsystems:

- ✓ acquisition subsystem;
- ✓ interaction subsystem;
- ✓ rendering subsystem.

The acquisition subsystem may vary depending on the application context and must function in order to acquire the image or video stream to be processed and then be able to run efficient algorithms in real time. Examples of such devices range from those that are handheld, to professional cameras or simple, inexpensive webcams.

The interaction subsystem should enable the user to interact with the 3D scene spontaneously, without limiting their natural movements. For example, a pointing device with 6 DOF (Degree of freedom) allows the user to identify the object within the scene, to recover any information about its history and properties, and be able to interact with the 3D object in terms of roto- translation.

The rendering subsystem is the heart of the system and enables the process of creating the 3D scenario to be realized in terms of geometry, materials and light.

The steps for managing an Augmented Reality process, consist in the use of computer vision algorithms for the management of acquired frames. The procedure normally used involves the creation of two reference images for each processed frame. The first one related to the rendering of the 3D scene, the second deriving from the video capture system. The two images come from two different cameras: the virtual camera and the real camera. Both must be aligned in order to obtain the final consistent scenario.

The techniques used in the application of Augmented Reality principally aim to merge images acquired with a camera in real time with synthetic scenes generated by the computer. A number of these techniques are based on the application of computer vision algorithms [1]. These operations are normally conducted in two phases. In the first phase, a specific set of points within the space are detected by means of specific algorithms such as corner detection, edge detection or thresholding. The second task aims to merge the two images using computer vision algorithms.

In Figure 1, the device for displaying the scene is represented by a video camera. The camera captures a perspective projection of the three-dimensional world (real world) in the form of a two-dimensional video stream.

The intrinsic (focal length and lens distortion) and extrinsic (position and pose) parameters of the video capture device, affect the three-dimensional image that is projected into

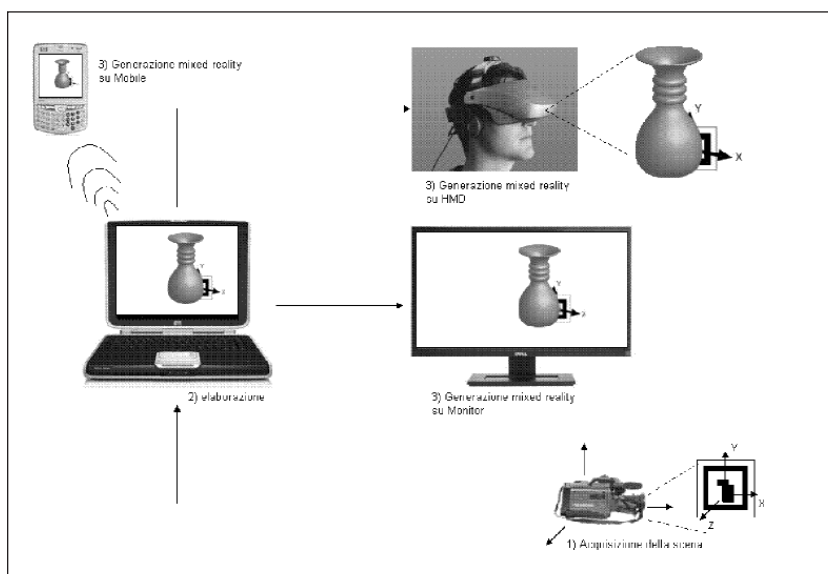


Figure 1. Management of a typical Augmented Reality scenario.

the two-dimensional image. The generation of the virtual image is produced using a real-time computer graphics system. Virtual objects are modeled in a reference frame. The graphics system requires information related to the image of the actual scene so that processing can be achieved. The camera position and orientation will be used to define the same information in the virtual scene. The image is then mixed with the image of the real scene to produce the image of augmented reality.

### 3. Principles of Marker tracking

The application of AR requires precision in positioning the 3D objects to be filmed in the real scene. Various tools or techniques can be used to solve this problem. The technique described in this article is based on the use of markers, graphic elements that are placed in the real scene. The marker must be captured by the camera and through subsequent operations of inverse homography it is then possible to determine the position of the observer in the 3D space.

An efficient marker must:

- support the unambiguous determination of position and orientation of an appropriately calibrated camera;
- not favor some orientations over others;

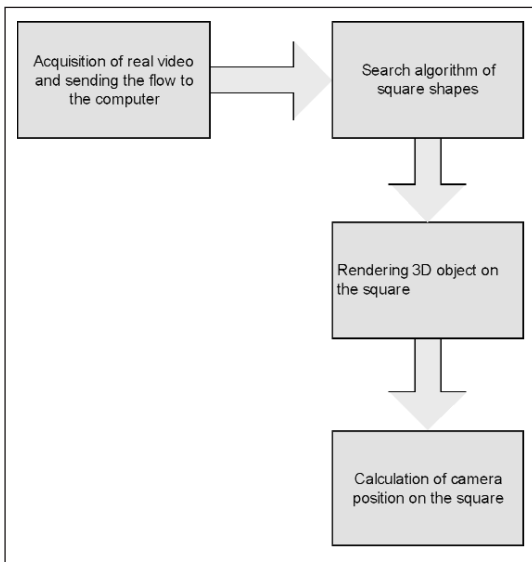


Figure 2. Operational steps for determining position.

- consist of a set of images so that it is unlikely to cause confusion with other objects in the scene;
- be easy to locate and identify through the use of simple, rapid algorithms;
- work with different cameras;

In terms of computing, software libraries which implement these dynamics can be used to facilitate this integration. The software library called ARTOOLKIT was used for the recognition and positioning of the virtual object. The main steps for tracking are summarized in Figure 2.

See above:

- Square-shaped search algorithm (in second box):
- 3D object rendering on/in the square (in third box).

Recognition of this marker in the acquired frame is made by comparing it with the pattern chosen using a method of template matching. This method consists of a series of templates (prototypes) present in its memory, one for each marker to recognize in the form of patterns included in sub-images. The classification of the pattern in relation to an unknown one, consists in correlating it with each of the prototype patterns. The main steps [2] are the calculation of the average deviation and standard deviation of the image (I index ) and pattern (P index).

$$\mu_I = \frac{1}{xy} \sum_x \sum_y I(x, y)$$
$$\mu_P = \frac{1}{xy} \sum_x \sum_y P(x, y)$$
$$\delta_I = \left( \sum_x \sum_y (I(x, y) - \mu_I)^2 \right)^{1/2}$$
$$\delta_P = \left( \sum_x \sum_y (P(x, y) - \mu_P)^2 \right)^{1/2}$$

Subsequently we can calculate the correlation coefficient:

$$\rho = \frac{\sum_x \sum_y (I(x, y) - \mu_I)(P(x, y) - \mu_P)}{\delta_P \delta_I}$$

If the coefficient of an image is the maximum for all images and exceeds the threshold (0.5), the image is recognized.

#### 4. Applications of Augmented Reality in Cultural Heritage

One of the most successful applications of Augmented Reality in the field of cultural heritage has been developed by the Powerhouse Museum in Sydney [2]. Exploiting the massive presence of the Museum in The Commons, Rob Manson and Alex Young developed an application loading 400 historical images of Sydney as POIs (Points of Interest),

which appear when a camera intercepts a marker. In this way, walking through the streets of Sydney and aiming the camera of your device at a particular point, it is possible to see real time pictures of the place as it was years before by receiving information directly from Flickr or from the museum's photo archive.

AR is also being used in Italy. For some time now, several cultural operators have been experimenting with augmented reality, and one example [3] is the collaboration taking place between Microsoft and the *Fondazione Musei Senesi*. The technology developed by the American company allows the benefits of a touch screen to be combined with that of the recognition of media materials, offering the visitor the opportunity of associating different contents on the navigation screen and independently developing his own knowledge. The user simply has to touch the screen to access specific information on local museums or individual details about the exhibits [3]. Multiple applications of augmented reality can be found in the industrial sector [4], training [5] and maintenance [6]. In the laboratories of the consortium CETMA in Brindisi, two different types of AR applications are being experimented, namely:

➤ *The virtual overlapping of aspects related to the well-being of cultural heritage (Diagnostics)*

The use case concerns a mobile device equipped with a camera framing a marker. The sw responsible for analyzing the video stream recognizes the marker, it associates it to the artifact to be monitored and returns a set of data and diagnostic measures taken previously or in real time. The case described here concerns a bust of Athena. The 3D model obtained by laser scanning was examined together with the diagnostic information regarding the measuring of thermal gradients with a thermal camera in order to monitor its thermal condition inside the museum for a full day. The example considered is primarily educational in nature and aims to demonstrate how it is possible to integrate different kinds of information. In this case the morphology comes from laser scanning, while the thermal gradients are captured by a camera. Data fusion was carried out with an appropriate algorithm. Thus, taking the thermal images and the 3D model as input, and on the basis of at least 6 points selected by the user, it was possible to add information about color thermography to that of a geometric nature. The processed data can then be analyzed by the technical staff through the technology of augmented reality. By framing the marker on his desktop (see colour Figure 3, p. 238), the technician is able to observe in his viewer (Head

mounted display), the three-dimensional model on which the thermographic measurements have been mapped without his having to be present in the same environment as the artifact.

In this way, the most appropriate assessments can be made using the continuously acquired remote data and the data obtained from the integration of different types of analyses.

➤ *Reconstruction and enhancing of cultural heritage*

In this case, a marker is placed next to the real artifact and is used as a sensor with 6 DOF (degrees of freedom). In this way, the 3D model of the properly reconstructed object, can be placed in a real scene. The camera frames the deteriorated object, and superimposes it over the hypothetical 3D model based on a historical and technical study. The information is sent to the computer which recognizes the marker and places the 3D model in the real scene. At this point, the features and technical investigations carried out can be explained, both in a written text and in an audio text (see colour Figure 4, p. 238).

## 5. Conclusion

The experiences described are intended to show how AR technology can be used in the diagnostics and enhancement of cultural heritage and how it can revolutionize the concept of its use and fruition. Information may be aggregated in relation to user category and include greater or lesser detail. In this way the user will have the opportunity to decide the type of information he wants, how to use it and the place. In the future, the task of protecting and disseminating heritage will be carried out employing these new technologies.

## References

- [1] KATO H., BILLINGHURST M., POUPYREV I., IMAMOTO K., TACHIBANA K. 2000, *Virtual Object Manipulation on a Table-Top AR Environment*, International Symposium on Augmented Reality, Munich, Germany.
- [2] <http://www.hitlabnz.org/wiki/Home>. [Online] [Cited: ] <http://www.hitlabnz.org>.
- [3] PowerHouse Museum. <http://www.powerhousemuseum.com>. [Online]
- [4] Musei Senesi. <http://www.museisenesi.org/>. [Online]
- [5] BERND SCHWALD, BLANDINE DE LAVAL, *An Augmented Reality System for Training and Assistance to Maintenance in the Industrial Context*.

- [6] FIORENTINO, M., DE AMICIS R., *Spacedesign: A Mixed Reality Workspace for Aesthetic Industrial Design*. Proceedings of ISMAR 2002 – International Symposium on Mixed and Augmented Reality.
- [7] *Augmented Reality Projects in Automotive and Aerospace Industry*. Holger Regenbrecht, Gregory Baratoff, Wilhelm Wilke. s.l.: IEEE, 2005.
- [8] *Tracking Requirements for Augmented Reality*. Azuma. 1993, Vol. Communications of the ACM 36.
- [9] ARGESE F. 2006/2007, Tesi di laurea. Tecniche avanzate di realtà (presso Consorzio CETMA Brindisi).
- [10] *Designing Highly Reliable Fiducial Markers*. M, Fiala. 17, s.l.: IEEE Computer Society, 2009, Vol. 32. 0162-8828.
- [11] *A simulator-based approach to evaluating optical trackers*. Smit FA, van Liere R. 2, s.l.: COMPUTERS & GRAPHICS-UK, 2009, Vol. 33. 0097-8493.
- [12] *Combination of optical shape measurement and augmented reality for task support: I. Accuracy of position and pose detection by ARToolKit*. Makoto Yamauchi, Kazuyo Iwamoto. 3, s.l.: The Optical Society of Japan, co-published with Springer-Verlag GmbH, 2010, Vol. 17. 1340-6000 (Print) 1349-9432 (Online).

### **Augmented Reality applicata alla diagnostica e fruizione dei beni culturali**

*Parole chiave:* realtà aumentata, realtà virtuale, fusione dati spazialmente risolti

#### **1. Introduzione**

Con il termine "realtà aumentata" (in inglese augmented reality, abbreviato AR) si indicano una serie di tecnologie hardware e software volte a miscelare riprese video effettuate da una telecamera con oggetti virtuali tridimensionali. Il risultato è un mix tra realtà reale e realtà virtuale. Nell'ambito dei beni culturali si comincia a sperimentare questa tecnologia sia in fase di fruizione e valorizzazione che in contesti specialistici come alcune fasi del processo diagnostico.

La base tecnologica ed algoritmica della realtà aumentata parte dall'analisi di un flusso video che riprende una scena reale. Nell'ambito della medesima scena vengono disseminate delle features denominate "marker". Quando il modulo software preposto all'analisi del flusso individua un marker nella scena, cerca di posizionarlo rispetto ad un sistema di riferimento solidale alla camera con cui viene effettuata la ripresa video, per poi sostituirlo in tempo reale, per sovrapposizione, con un modello 3D virtuale realizzato grazie ad un software di modellazione.

Lo scopo di questo articolo è quello di fare il punto dello stato dell'arte della realtà aumentata per poi vederne una sperimentazione nell'ambito dei beni culturali. L'esigenza di rivolgersi ad un pubblico sempre più vasto presuppone l'utilizzo delle nuove tecnologie in una duplice valenza cioè ci si rivolge contemporaneamente sia alle esigenze dei professionisti e degli "addetti" ai lavori (storici, archeologi, curatori, etc.), sia a quelle dei fruitori di tale lavoro, vale a dire



la generalità del pubblico. La possibilità di fornire uno strumento che, da una parte, si configura come uno strumento tecnico a disposizione degli addetti ai lavori per svolgere parti essenziali dei loro compiti istituzionali, e, dall'altra, come uno strumento didattico-formativo-divulgativo, che consente al pubblico un livello di avvicinamento e comprensione delle opere fino ad oggi difficilmente raggiungibile, aspetto questo particolarmente importante data la vasta maggioranza dei meno esperti.

## 2. La tecnologia AR

Dal punto di vista hardware i principali componenti di un sistema AR sono: display (Head Mounted Displays o Handled display), tracking, input devices, e calcolatore. Il display ci permette di visualizzare il contenuto informativo, il tracking permette di localizzare con una certa precisione un punto nello spazio reale mentre il pc permette di eseguire gli algoritmi di computer vision che permetteranno la composizione della scena virtuale.

Nei sistemi di augmented reality la possibilità di interagire con i prototipi digitali presuppone l'utilizzo di un sistema di tracciamento dei movimenti umani. I dispositivi che permettono il tracciamento sono di natura diversa e la loro individuazione dipende da molti fattori come il campo di applicazione, le condizioni ambientali di utilizzo e il budget a disposizione. In generale i più utilizzati sono: digital camera, sensori ottici, sensori elettromagnetici, rfid, sensori wireless e GPS.

Descriviamo in questa sezione un tipico sistema di Augmented Reality impiegato nella valorizzazione di beni culturali per acquisire elaborare e in seguito presentare i dati. Gli strumenti normalmente utilizzati per questi sistemi presuppongono l'utilizzo dei seguenti sottosistemi:

- ✓ sottosistema di acquisizione;
- ✓ sottosistema di interazione;
- ✓ sottosistema di rendering.

Il sottosistema di acquisizione può variare a seconda del contesto applicativo e deve provvedere ad acquisire l'immagine o il flusso video da elaborare e successivamente riuscire ad eseguire degli algoritmi efficienti in grado di elaborare in tempo reale. Esempi di questi dispositivi vanno dal cellulare al palmare alle telecamere professionali o le semplici ed economiche webcam.

Il sottosistema di interazione deve consentire all'utente di interagire con la scena 3D in maniera disinvolta senza limitare i movimenti naturali. Ad esempio un dispositivo di puntamento a 6 DOF (Degree of freedom) consentirebbe all'utente di identificare il bene all'interno dello scenario, recuperare eventuali informazioni riguardanti la sua storia, le sue proprietà e riuscire a interagire con l'oggetto 3D in termini di roto-traslazioni.

Il sottosistema di rendering è il cuore del sistema, permette di realizzare il processo di creazione dello scenario 3D in termini di geometria materiali e luci.

Le fasi per la gestione di un processo di AR prevedono l'utilizzo di algoritmi di computer vision per la gestione del frame acquisito. La procedura normalmente utilizzata prevede la creazione di due immagini di riferimento per ogni frame elaborato: la prima relativa al rendering della scena 3D, la seconda proveniente dal sistema di acquisizione video. Le due immagini provengono da due camere differenti, la prima virtuale, la seconda reale. Esse dovranno essere integrate allineando le medesime per avere uno scenario finale coerente.

Le tecniche alla base di una applicazione di augmented reality hanno il principale obiettivo di fondere l'immagine acquisita in tempo reale con un dispositivo tipo videocamera con quella generata al computer, alcune di queste si rifanno all'applicazione di algoritmi di computer vision [1]. Normalmente queste operazioni vengono condotte in due fasi: nella prima fase, utilizzando degli algoritmi di corner detection, edge detection o thresholding, si individuano i fiduciali nella seconda si mira a fondere le due immagini utilizzando degli algoritmi di computer vision.

Nella Figura 1 il dispositivo di visualizzazione della scena è raffigurato da una videocamera. La camera cattura una proiezione prospettica del mondo tri-

dimensionale (mondo reale) sotto forma di flusso video bidimensionale. I parametri intrinseci (lunghezza focale e distorsione della lente) ed estrinseci (posizione e posa) del dispositivo di acquisizione video influiscono sull'immagine tridimensionale proiettata nell'immagine bidimensionale. La generazione dell'immagine virtuale è realizzata con un sistema di computer grafica real time. Gli oggetti virtuali sono modellati in un fotogramma di riferimento. Il sistema grafico richiede informazioni correlate all'immagine della scena reale in maniera tale che sia possibile realizzare l'elaborazione. Questi dati controlleranno la camera sintetica di cui si fa uso per generare l'immagine comprensiva degli oggetti virtuali. L'immagine è poi mescolata con l'immagine della scena reale per formare l'immagine di realtà aumentata.

### 3. Principi di tracciamento attraverso Marker

Le applicazioni di AR hanno la necessità di collocare con una certa precisione degli oggetti 3D nella scena reale ripresa, per far ciò si possono utilizzare degli strumenti o tecniche che permettono di risolvere il problema. La tecnica che descriviamo in questo articolo si basa sull'utilizzo dei marker, elementi grafici che sono posti nella scena reale. Il marker deve essere inquadrato dalla telecamera ed attraverso delle successive operazioni di omografia inversa è possibile determinare la posizione dell'osservatore nello spazio.

Affinché un marker sia efficiente deve:

- supportare la determinazione non ambigua della posizione e della orientazione di una camera opportunamente calibrata;
- non privilegiare alcune orientazioni rispetto ad altre;
- essere composto da un insieme di immagini in maniera tale da rendere molto poco probabile creare confusione con altri oggetti presenti nella scena;
- essere semplice da localizzare e identificare tramite l'uso di algoritmi semplici e veloci;
- funzionare con differenti camere.

Dal punto di vista informatico per rendere più agevole l'integrazione si possono utilizzare delle librerie software che implementano queste dinamiche. La libreria software ARTOOLKIT è stata utilizzata per il riconoscimento e il posizionamento dell'oggetto virtuale. I passi principali per il tracciamento sono i schematizzati in Figura 2.

Il riconoscimento del marker presente nel frame acquisito è realizzato mediante un confronto con il relativo pattern prescelto attraverso il metodo del template matching. Il metodo prevede la presenza in memoria di una serie di template (prototipi), uno per ciascun marker da riconoscere, sotto forma di pattern inclusi in sub-immagini. La classificazione del pattern relativo ad un incognito consiste nell'eseguirne la correlazione con ciascuno dei pattern prototipo. I principali passi [2] sono il calcolo dello scarto medio e la deviazione standard dell'immagine (indice I) e del pattern (indice P):

$$\begin{aligned}\mu_I &= \frac{1}{xy} \sum_x \sum_y I(x,y) \\ \mu_P &= \frac{1}{xy} \sum_x \sum_y P(x,y) \\ \sigma_I &= \left( \sum_x \sum_y (I(x,y) - \mu_I)^2 \right)^{1/2} \\ \sigma_P &= \left( \sum_x \sum_y (P(x,y) - \mu_P)^2 \right)^{1/2}\end{aligned}$$

In seguito si può calcolare il coefficiente di correlazione:

$$\rho = \frac{\sum_x \sum_y (I(x,y) - \mu_I)(P(x,y) - \mu_P)}{\sigma_P \sigma_I}$$

Se il coefficiente per un'immagine è il massimo per l'insieme delle immagini e eccede la soglia fissata (0.5), l'immagine è riconosciuta.

#### **4. Applicazioni della Realtà Aumentata nei Beni Culturali**

Nel campo dei beni culturali una delle più riuscite applicazioni di *Augmented Reality* è stata ideata dal *PowerHouse Museum* di Sydney [3]. Sfruttando la voluminosa presenza fotografica del Museo all'interno di *The Commons Rob Manson* e *Alex Young* è stata sviluppata un'applicazione AR caricando 400 immagini storiche di Sydney come *POIs (Point of Interest)*, che vengono visualizzate quando la telecamera del visitatore inquadra una zona ed intercetta un marker. In questo modo, passeggiando per Sydney e puntando la camera del proprio device è possibile vedere in tempo reale le immagini di come era quel luogo anni prima, ricevendo informazioni direttamente da Flickr o dalle schede del museo.

Anche in Italia l'AR ha trovato la sua applicazione. Da tempo alcuni operatori culturali stanno sperimentando la realtà aumentata e un esempio [4] è la collaborazione fra la *Microsoft* e la *Fondazione Musei Senesi*. La tecnologia messa a punto dall'azienda americana permette di fondere le prestazioni di uno schermo *touchscreen* a quelle del riconoscimento di supporti materiali, offrendo a un visitatore la possibilità di associare contenuti differenti con la navigazione su uno schermo e di sviluppare al contempo conoscenze in modo autonomo. All'utente basta sfiorare lo schermo del monitor per poter accedere a informazioni specifiche sui musei del territorio o su singoli dettagli delle opere in essi esposte [4]. Molteplici applicazioni della realtà aumentata le troviamo in ambito industriale [5], addestramento [6] e manutenzione [7].

Nei laboratori del consorzio *CETMA* di Brindisi si sta sperimentando l'AR in due diverse tipologie di applicazioni, ovvero:

➤ **La sovrapposizione virtuali relative ad aspetti legati allo stato di salute del BC (Diagnostica)**

Il caso d'uso riguarda un dispositivo mobile fornito di telecamera che inquadra un marker. Il sw preposto ad analizzare il flusso video riconosce il marker, lo associa al bene oggetto di monitoraggio e restituisce una serie di informazioni e misure diagnostiche effettuate in precedenza o in tempo reale. Il caso riportato riguarda il busto di *Athena*: al modello 3D ottenuto mediante una scansione laser si sono aggiunte delle informazioni diagnostiche riguardanti una misura di gradienti termici con termo-camera al fine di monitorarne lo stato termico in fase di musealizzazione nel corso di una intera giornata. L'esempio preso in esame è principalmente di natura didattica e ha l'obiettivo di dimostrare come sia possibile integrare delle informazioni di natura differente. Nel caso in esame la morfologia proviene dalla scansione laser mentre i gradienti termici sono catturati da una termocamera. La fusione dei dati è stata realizzata con un opportuno algoritmo che prendendo in input le immagini termografiche e il modello 3D e sulla base di almeno 6 punti scelti dall'utente riesce ad aggiungere le informazioni relative al colore termografico con quelle di natura geometrica. I dati elaborati possono essere analizzati dal personale tecnico attraverso la tecnologia di *augmented reality*. Il tecnico inquadrando il marker sulla propria scrivania (Figura 3 a colori, p. 238) ottiene sul visore indossato un modello tridimensionale su cui è stata mappata la misura termografica senza entrare negli ambienti in cui il bene è custodito.

In questo modo si possono effettuare le valutazioni più appropriate utilizzando i dati remoti continuamente acquisiti e i dati ottenuti dall'integrazione di differenti tipologie di analisi.

➤ **Ricostruzione e valorizzazione**

In questo caso accanto al bene culturale reale è posizionato un marker che viene utilizzato come un sensore a 6 dof (*degrees of freedom*) attraverso il quale è possibile posizionare il modello 3D del bene opportunamente rico-

struito in una scena reale. La camera inquadra il bene in "rovina", del quale si ha un ipotetico modello 3D ricostruito sulla base di uno studio storico tecnico. L'informazione è inviata all'elaboratore che riconosce il marker e si preoccupa di posizionare il modello 3D nella scena reale. A questo punto è possibile illustrare le indagini tecniche condotte e le caratteristiche dell'opera sia in maniera testuale che vocale (Figura 4 a colori, p. 238).

### 5. Conclusioni

Le esperienze descritte vogliono dimostrare come la tecnologia di AR possa essere impiegata nel campo della diagnostica e valorizzazione di beni culturali e come la medesima può rivoluzionare e delocalizzare il concetto di fruizione. Le informazioni potranno essere aggregate in riferimento alla categoria dell'utente e avere un maggiore o minore livello di dettaglio. In questo modo l'utente avrà la possibilità di decidere le tipologie di informazioni che desidera, le modalità di fruizione e il luogo di visita e sarà quindi demandato alle nuove tecnologie la possibilità di modificare e trasformare la tutela e la diffusione del bene.

### Summary

The term "Augmented Reality" (AR) is used to define integrated hardware and software technologies, designed to mix video footage taken by a camera with three-dimensional virtual objects. The result is a mix between real reality and virtual reality. Many applications of this technology are being developed for use in the field of cultural heritage and are being introduced for use in specialized contexts such as in certain phases of the diagnostic process or fruition.

The basic algorithmic approach for augmented reality, starts from a video stream analysis that incorporates a real scene. Within the same scene are scattered a set of known geometric images called "markers". When the software module in charge of the video flow analysis identifies a marker within the scene, it tries to position it in relation to a reference system integral with the chamber which performs the video shoot, and then replaces it in real time, overlapping with a 3D model achieved through a virtual modeling software.

The aim of this article is to evaluate the state of the art augmented reality and then examine several experiments involving its application to cultural heritage.

### Riassunto

Con il termine "realtà aumentata" (in inglese *augmented reality*, abbreviato AR) si indicano una serie di tecnologie hardware e software volte a miscelare riprese video effettuate da una telecamera con oggetti virtuali tridimensionali. Il risultato è un mix tra realtà reale e realtà virtuale. Nell'ambito dei beni culturali si comincia a sperimentare questa tecnologia sia in fase di fruizione e valorizzazione che in contesti specialistici come alcune fasi del processo diagnostico.

La base tecnologica ed algoritmica della realtà aumentata parte dall'analisi di un flusso video che riprende una scena reale. Nell'ambito della medesima scena vengono disseminate delle features denominate "marker". Quando il modulo software preposto all'analisi del flusso individua un marker nella scena, cerca di posizionarlo rispetto ad un sistema di riferimento solidale alla camera con cui viene effettuata la ripresa video, per poi sostituirlo in tempo reale, per sovrapposizione, con un modello 3D virtuale realizzato grazie ad un software di modellazione.

Lo scopo di questo articolo è quello di fare il punto dello stato dell'arte della realtà aumentata per poi vederne una sperimentazione nell'ambito dei beni culturali.

## Résumé

Par le terme “réalité augmentée” (en anglais *augmented reality*, abrégé AR) on indique une série de technologies hardware et de logiciel consacrées à mélanger des prises de vue vidéo effectuées par une caméra de télévision avec des objets virtuels tridimensionnels. Le résultat est un mélange entre réalité réelle et réalité virtuelle. Dans le domaine des biens culturels on commende à expérimenter cette technologie tant en phase de jouissance et mise en valeur que dans des contextes spécialisés comme certaines phases du procès diagnostique.

La base technologique et algorithmique de la réalité augmentée part de l'analyse d'un flux vidéo qui reprend une scène réelle. Dans le cadre de la même scène sont disséminés des marques dénommées “marker”. Quand le module logiciel préposé à l'analyse du flux détermine un marker dans la scène, il cherche à le positionner par rapport à un système de référence solidaire de la caméra avec laquelle est effectuée la prise de vue vidéo, pour ensuite la remplacer en temps réel, par superposition, avec un modèle 3d virtuel réalisé grâce à un logiciel de modelage.

Le but de cet article est celui de faire le point de l'état de l'art de la réalité augmentée pour ensuite en voir une expérimentation dans le domaine des biens culturels.

## Zusammenfassung

Mit dem Begriff “Erweiterte Realität” (englisch *augmented reality*, abgekürzt AR) bezeichnet man eine Reihe von Hardware- und Softwaretechnologien, mit denen Videoaufnahmen von einer Kamera mit virtuellen dreidimensionalen Gegenständen gemischt werden können. Das Ergebnis ist eine Mischung aus realer Realität und virtueller Realität. Auf dem Gebiet der Kulturgüter fängt man gerade an, diese Technologie zu erproben, sowohl in der Nutzungs- und Aufwertungsphase als auch in speziellen Fachgebieten wie einigen Phasen des Diagnoseprozesses.

Die technologische und algorithmische Grundlage der Erweiterten Realität geht von einer Analyse eines Videoflusses aus, der eine reale Szene wiedergibt. In dieser Szene werden so genannte “Marker” verteilt. Wenn der für die Analyse des Flusses eingesetzte Softwaremodul einen Marker in der Szene antrifft, versucht er ihn in einem mit der Kamera, mit der die Videoaufnahme gemacht wird, fest verbundenen Bezugssystem zu positionieren, um ihn dann in Echtzeit durch Überlagerung mit einem virtuellen 3D-Modell zu ersetzen, das von einer Modellierungssoftware realisiert wird.

Ziel dieses Artikels ist es, einen Überblick über den Stand der Erweiterten Realität zu geben und dann eine Erprobung auf dem Gebiet der Kulturgüter zu zeigen.

## Resumen

Con el término “realidad aumentada” (en inglés *augmented reality*, abreviado en AR) se indican una serie de tecnologías hardware y software que tienen por finalidad mezclar objetos virtuales tridimensionales con tomas de vídeo efectuadas con una cámara. El resultado es una mezcla entre realidad real y realidad virtual. En el marco de los bienes culturales se comienza a experimentar esta tecnología tanto en contexto de aprovechamiento y valorización como en contextos especializados y en algunas fases del proceso diagnóstico.

La base tecnológica y algorítmica de la realidad aumentada parte del análisis de un flujo de vídeo que recoge una escena real. En el marco de la misma escena se diseminan determinados elementos denominados “marker”. Cuando el módulo software sometido al análisis del flujo localiza un marker en la escena, trata de situarlo con respecto a un sistema de referencia unitario con la cámara con la que se efectúa la filmación de vídeo, para después sustituirlo en tiempo real, por superposición, con un modelo 3D virtual realizado gracias a un software de modelación.

La finalidad de este artículo es hacer hincapié en el estado de evolución de la realidad aumentada para después ver una experimentación en el campo de los bienes culturales.

## Резюме

Термином "Дополненная реальность" (по-английски "*augmented reality*", в сокращении AR) называют ряд аппаратных и программных технологий, направленных на смешивание сделанных телекамерой видео съемок с виртуальными трехмерными предметами. В результате получаем смесь реальной и виртуальной действительности. В области охраны культурного имущества начинают экспериментировать эту технологию в фазе пользования и валоризации, а также в таких специализированных контекстах, которыми являются некоторые фазы диагностического процесса.

Технологическая и алгоритмическая основа дополненной реальности исходит из анализа видео потока, снимающего реальную сцену. В рамках той же сцены рассеяны объекты, называемые "маркерами". Когда программный модуль, предназначенный для анализа потока, определяет маркер в сцене, он пытается позиционировать его по отношению к справочной системе, сплоченной с видеокамерой, осуществляющей видеосъемку, потом заменяя его в реальном времени, путем наложения, виртуальной трехмерной моделью, произведенной при участии программы моделирования.

Целью этой статьи является подведение итогов современного положения науки и техники в области дополненной реальности, чтобы затем рассмотреть экспериментирование ее применения в области культурного имущества.

**MINERALOGICAL AND SPECTROSCOPIC CHARACTERIZATION OF SOME PRODUCTS RESULTING FROM THE WEATHERING PROCESS ON THE TOMB OF NAKHT-DJEHUTY (TT189), WESTERN THEBES, UPPER EGYPT (colour figures)**

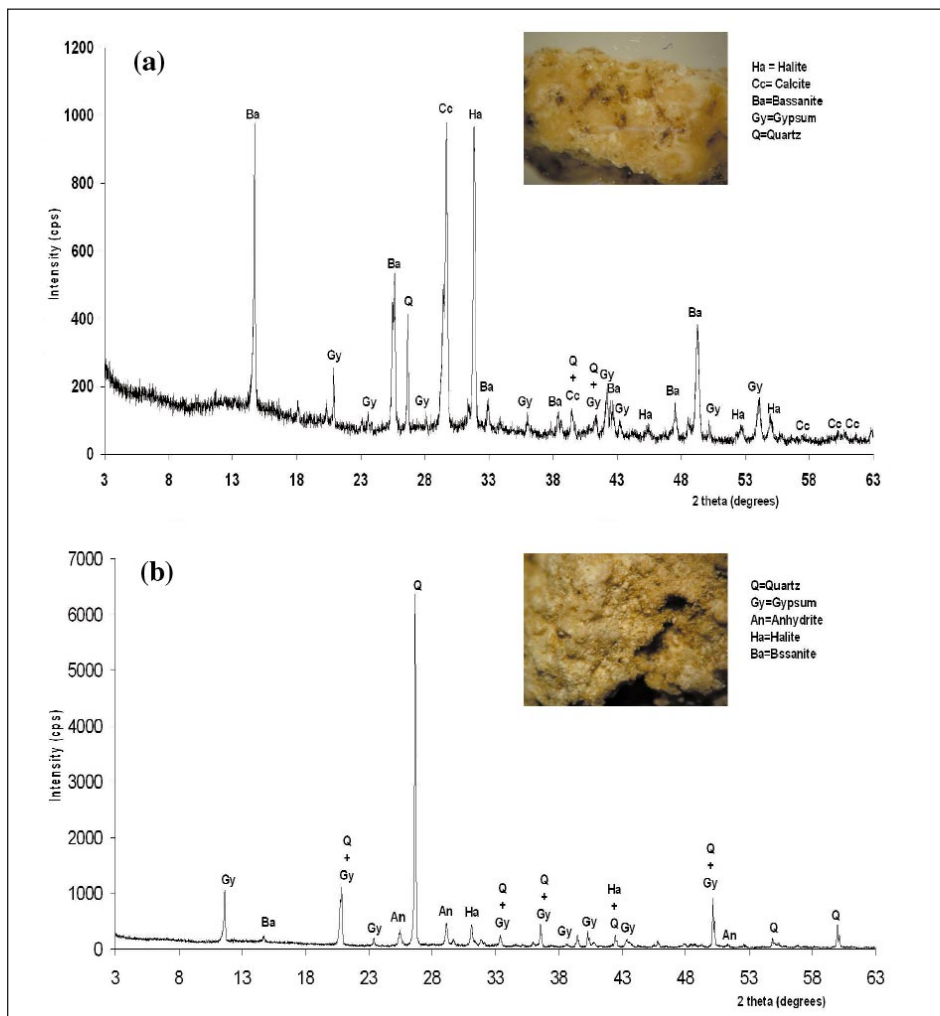


Figure 2. Representative patterns of powder X-ray diffraction analysis (PXRD) showing the mineralogical composition of the studied weathering products.

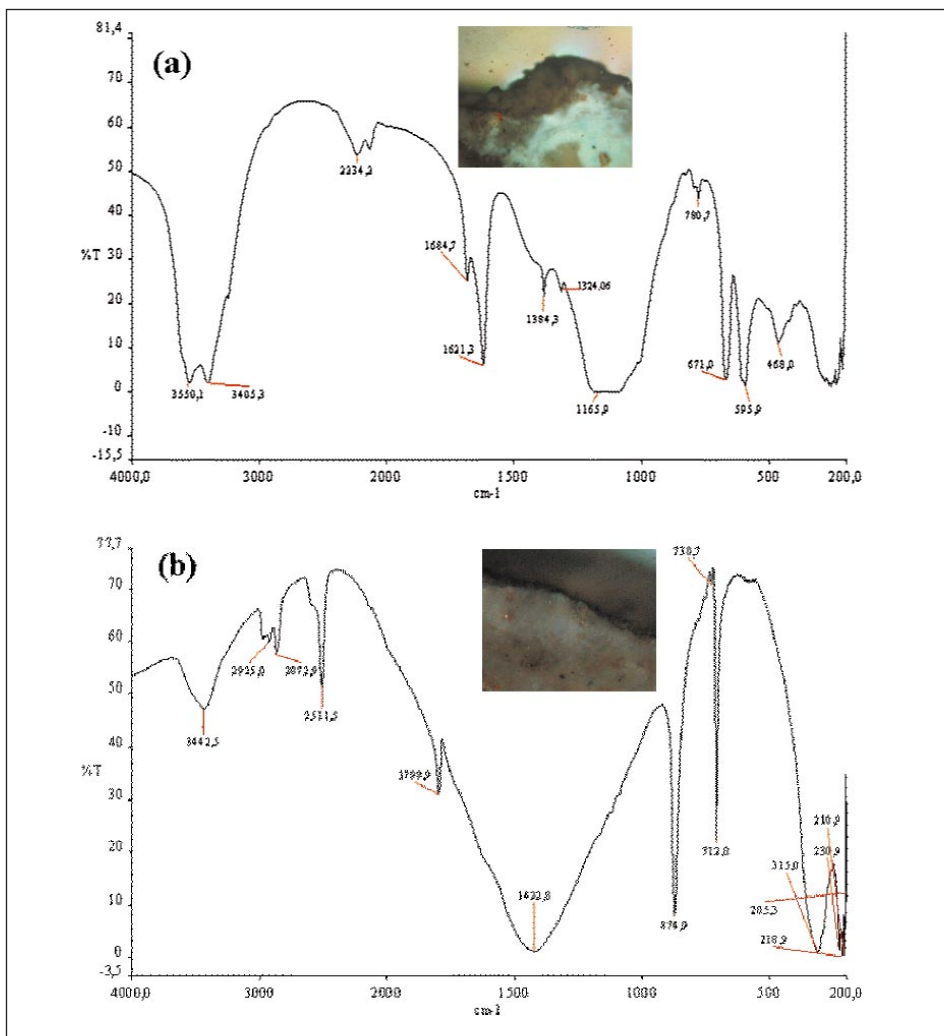


Figure 3. Transmittance FTIR (KBr) spectra of: a): weathering products and Ca-oxalate film on the surface, b): a dark layer.



**MICROCLIMATE MANAGEMENT FOR THE PRESERVATION  
OF CULTURAL HERITAGE** (colour figures)



*Figure 1. Outside view of the Castle of Chiaramonte of Favara (Ag).*



Figure 2. Outside view of the Church of Saint Matthew (Pa).



Figure 4. Ground floor interior, exhibition hall.



Figure 5. Piano nobile floor interior, conference room.

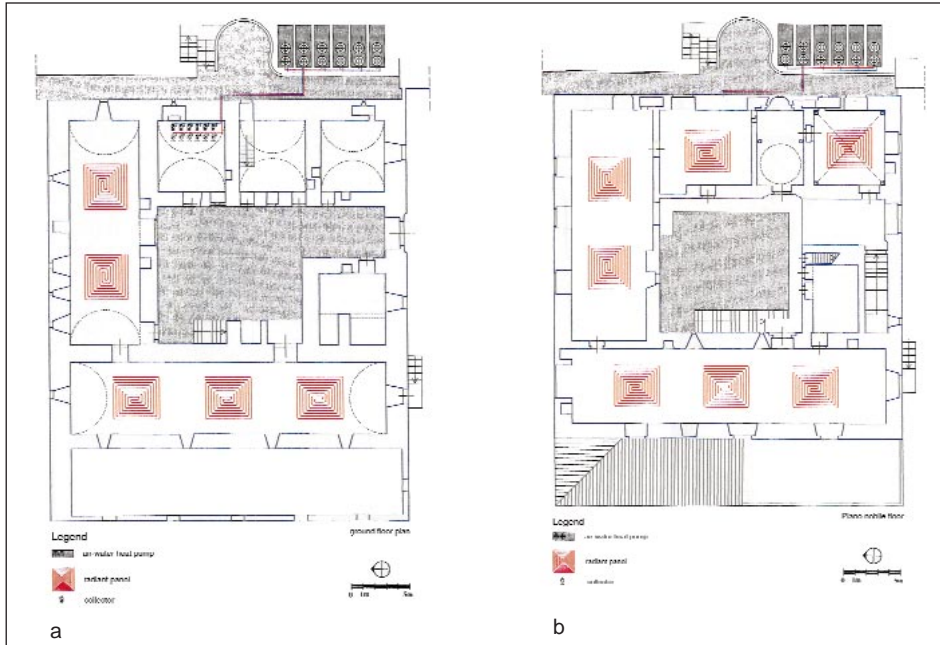


Figure 6. Proposal for the installation of radiant floor heating in the Castle of Chiaramonte: ground floor plan (a), piano nobile floor plan (b).

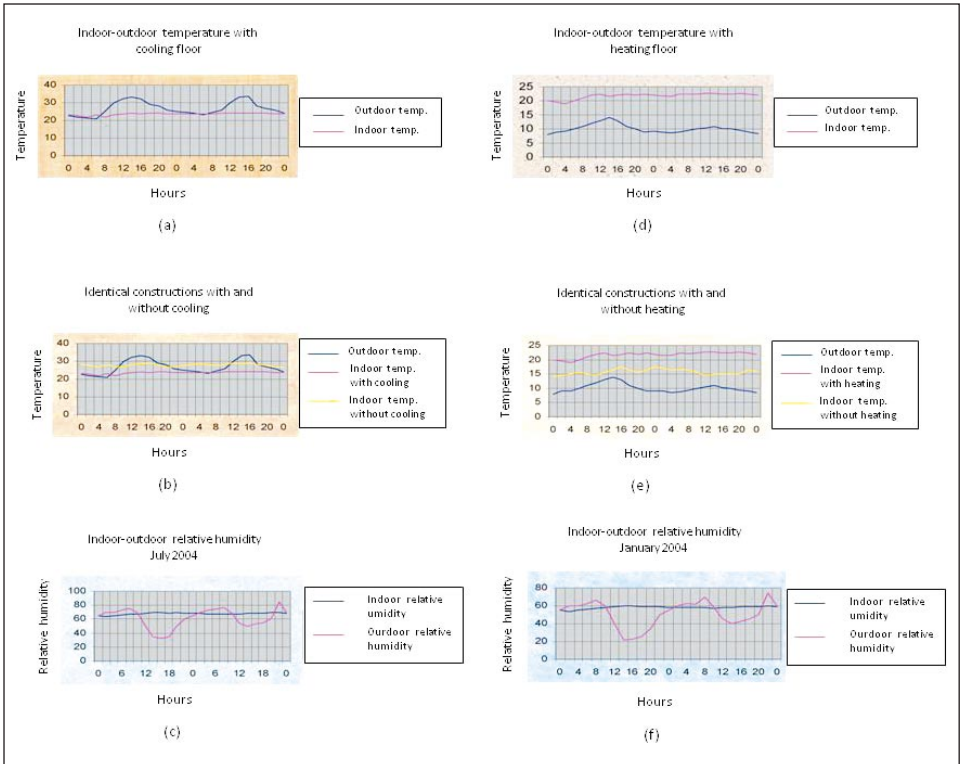


Figure 7. Simulation of radiant floor heating and cooling system.

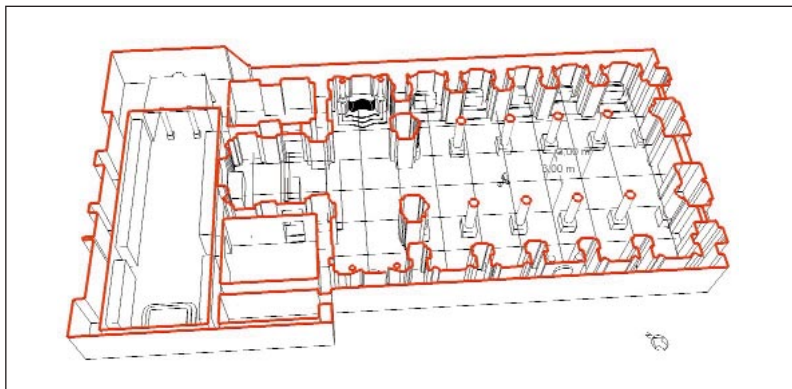


Figure 8. The chosen grid form  $3 \times 3$  m in the Church of Saint Matthew (Pa).

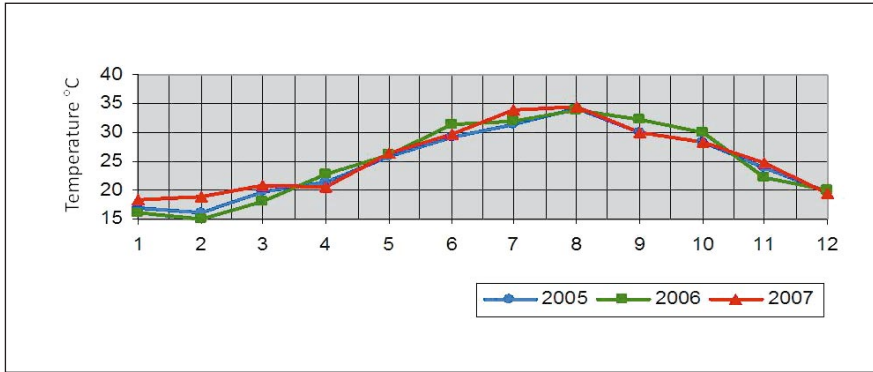


Figure 9. Change in maximum monthly temperature over the last three years in Palermo.

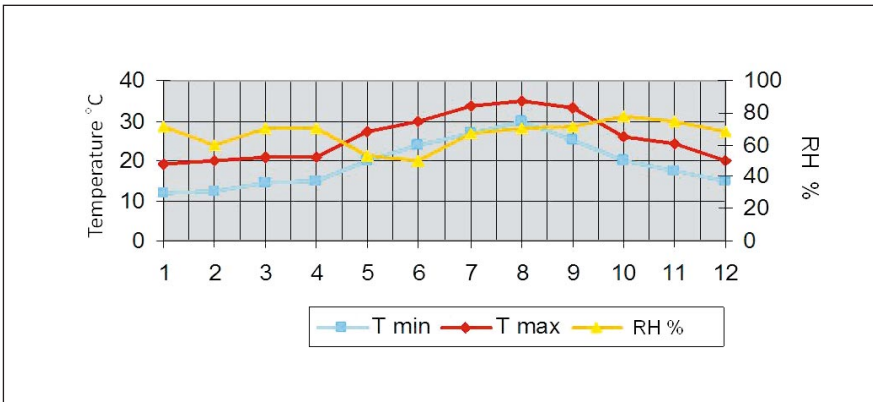


Figure 10. Monthly minimum and maximum temperatures – Maximum relative humidity for 2006/2007.



Figure 11. Material typology of the collection in the Church of Saint Matthew.



Figure 12. Chapel of the "Guardian Angel".

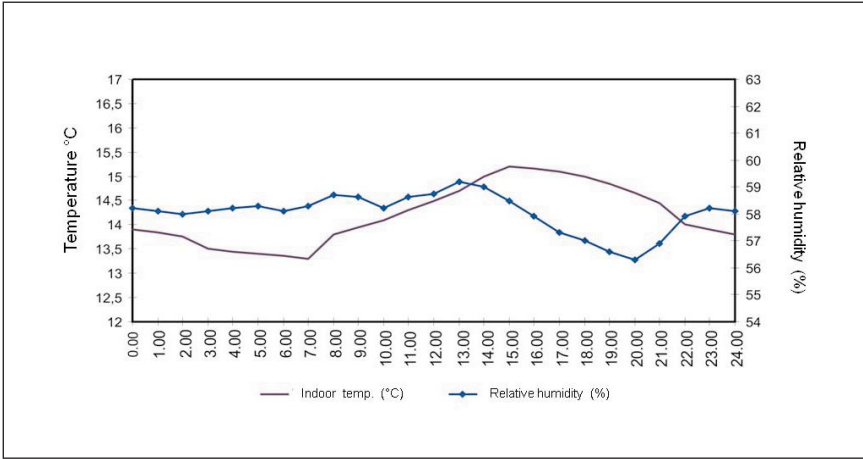


Figure 13a. Mapping n. 1, Chapel of the “Guardian Angel” – 23 January 2007.

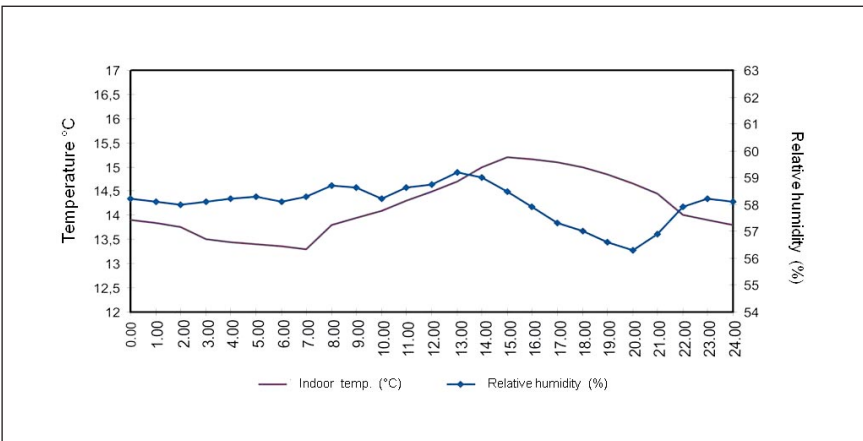


Figure 13b. Mapping n. 1, Chapel of the “Guardian Angel” – 23 January 2007.

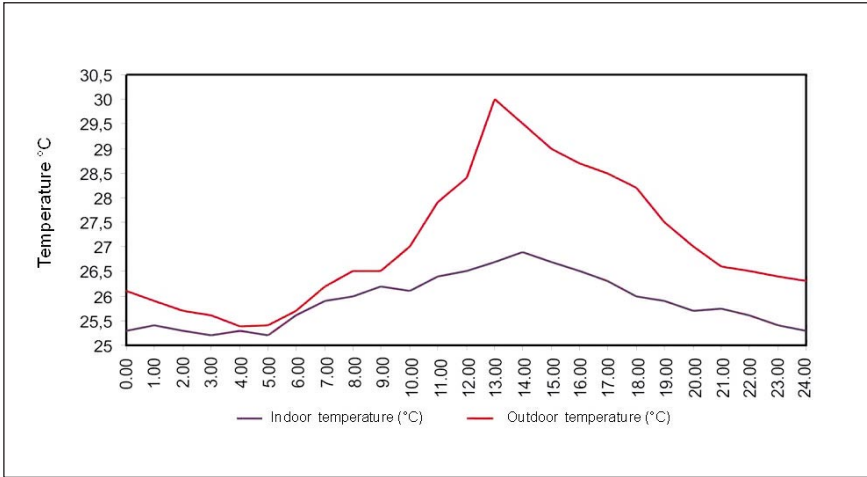


Figure 13c. Mapping n. 1, Chapel of the “Guardian Angel” – 2 June 2007.

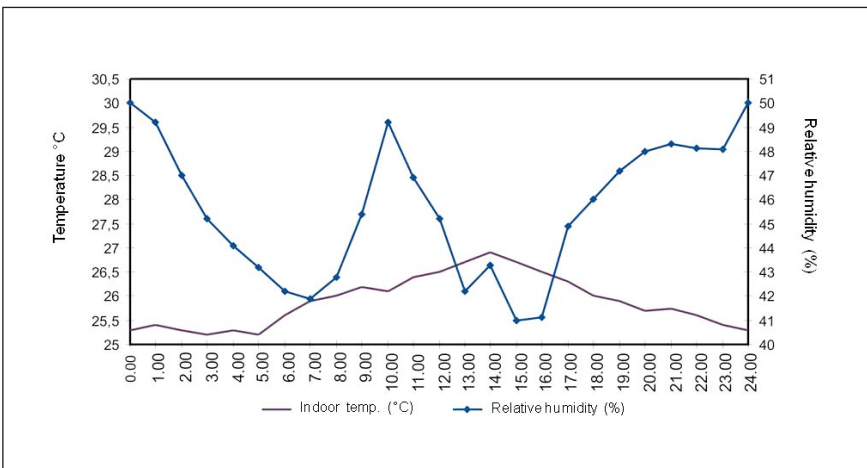


Figure 13d. Mapping n. 1, Chapel of the “Guardian Angel” – 2 June 2007.





a



b



c



d

*Figure 16. Interior of Church of Saint Matthew: stone paving of the transept (a); chequered stone floor of the sacristy (b); pattern of square slabs of the central nave (c); pattern of square slabs and stone floor of the transept (d).*

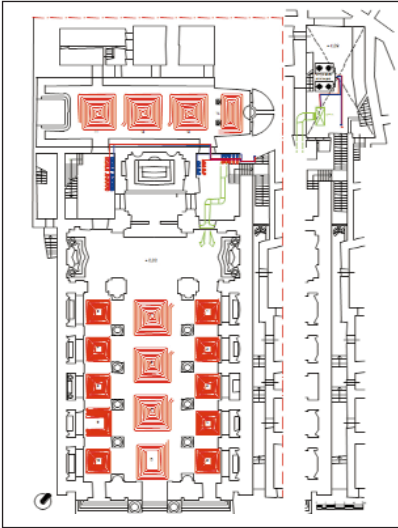


Figure 17. Plan for radiant floor heating and cooling system.

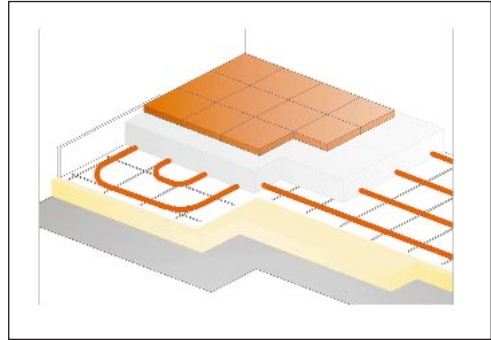


Figure 18. Structural diagram of a radiant floor.

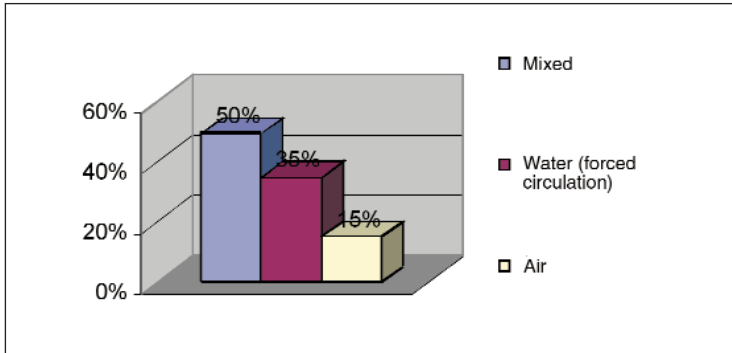


Figure 20. Air conditioning system.

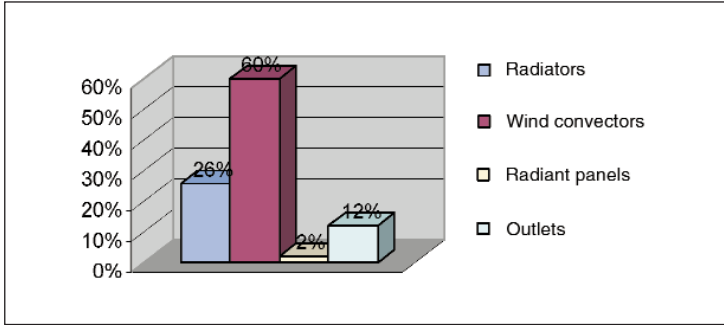


Figure 21. Different types of heating systems.

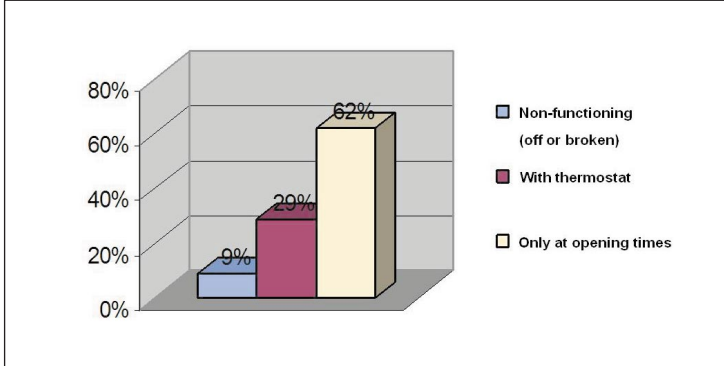


Figure 22. Operating time of the system.

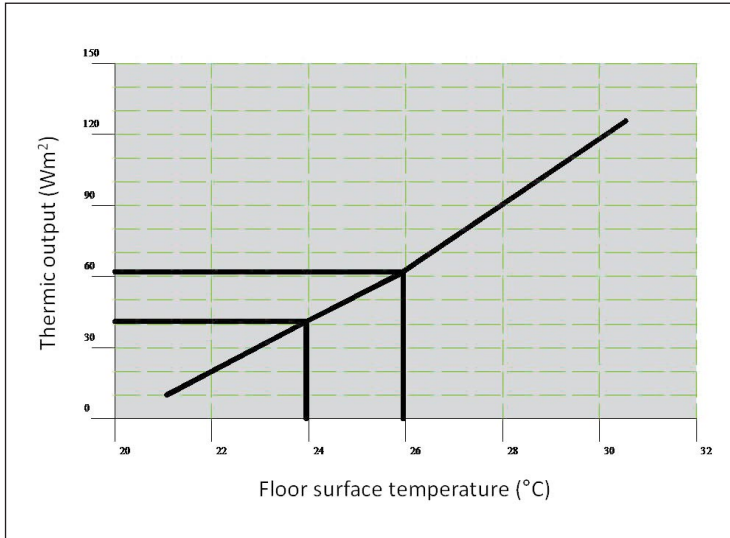


Figure 25. Thermal performance of radiant floor in relation to floor surface temperature (room temperature 20°C).

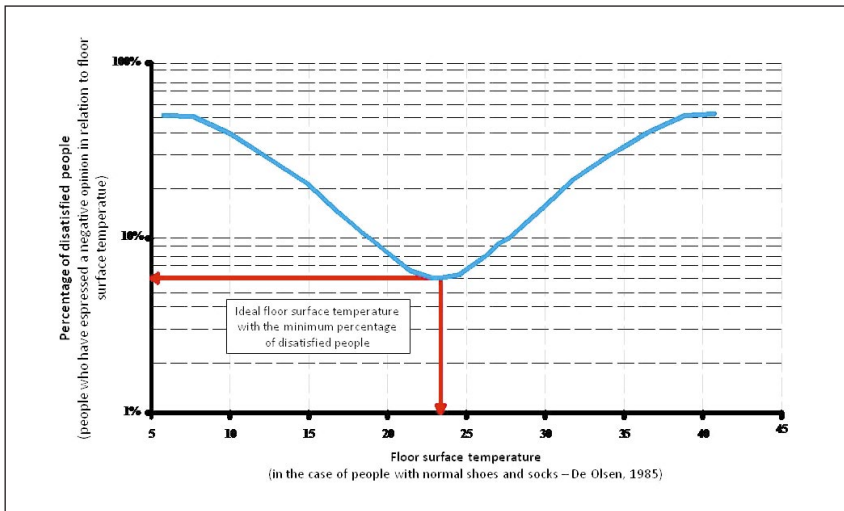
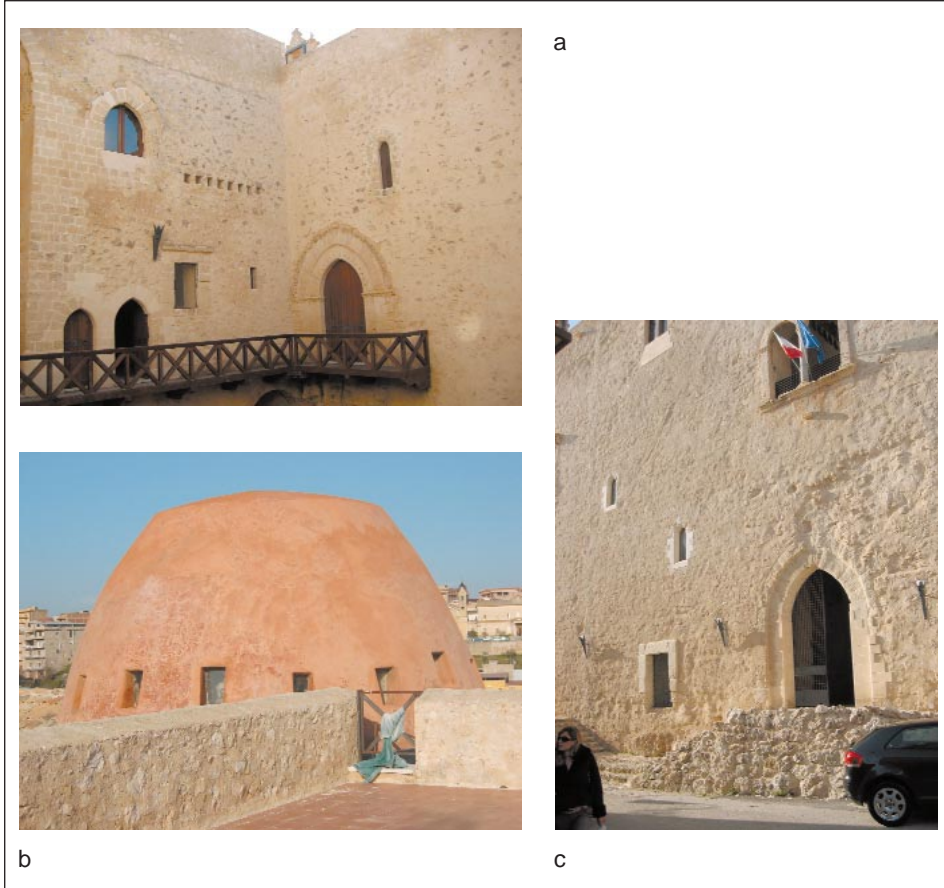
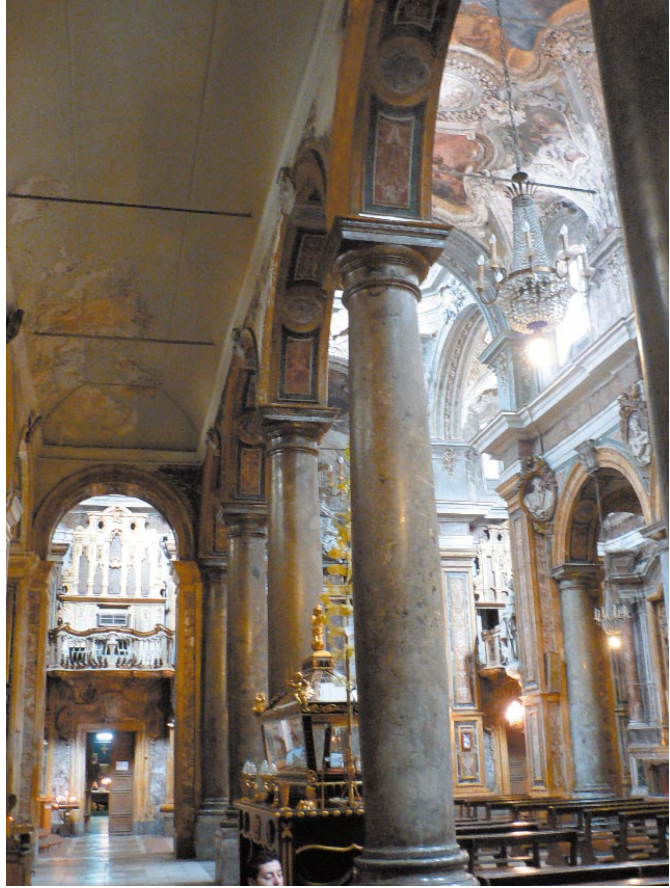


Figure 26. The UNI-EN-ISO 7730 regulation states that the surface temperature of the floor can vary between 19-26°C and that the project can be executed using a surface temperature of 29°C.



*Figure 27. Outside view of Castle: detail of the gallery overlooking the courtyard (a); dome (b); entrance (c).*



*Figure 28a. Inside of the Church of Saint Matthew: aisle.*



*Figure 28b. Inside of the Church of Saint Matthew: nave.*



Figure 28c. Inside of the Church of Saint Matthew: detail of the dome interior.

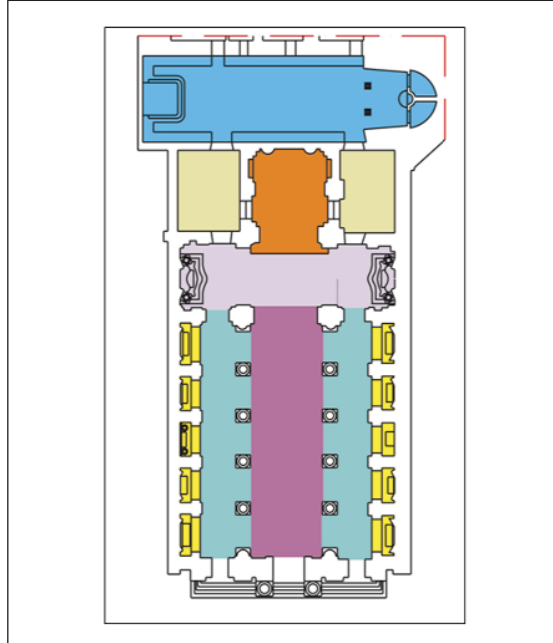


Figura 30. Plan of the Church of Saint Matthew.

LIMITS IN THE RESTORATION OF HISTORICAL ORGANS (colour figures)



*Figure 1. Antonino La Manna, 1756, Church of S. Maria della Pietà in Palermo. Wooden table with three spans with cusps.*





*Figure 2. Salvatore Briulotta, 1856, Church of Carmine Maggiore in Palermo. The instrument is constructed using the “Serassi” method. The keyboard which is not original has 56 keys and a lectern pedal-board with 12 short pedals.*

*Figure 3. The particular conformation of the console denotes the stylistic peculiarities of the Sicilian organ. It has one keyboard connected to one pedalboard in sixth, with very short sloping pedals of medieval ancestry, protruding from the base frame or frameless. Francesco La Grassa, 1832, Church of S. Michele Arcangelo in Sciacca (AG). The keyboard consists of diatonic keys with covers in blackened beech and chromatic keys in spruce with covers in bone. The pedalboard consists of levers made of beech.*



*Figure 4. Detail of one of the two "lantern" bellows of the organ by Antonino La Manna, 1756, Church of S. Ninfa dei Padri Crociferi di Palermo. This model in which the folds are held parallel when being pumped by means of the metal pantograph guides, was introduced in the eighteenth century. The restoration of the bellows was probably carried out during the last intervention in the fifties.*



Figure 5.



Figure 6.

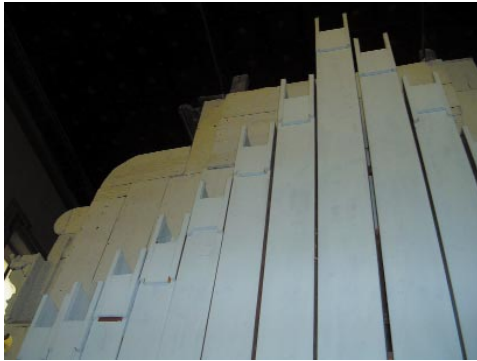


Figure 7.

*Figures 5-6-7. Pipe organ of Raffaele la Valle, 1615, and reconstruction by Giacomo Andronico, 1772, Church of La Gancia in Palermo. Detail of tin pipes of the façade subject to deformation near the mouths. Internal arrangement of metal rods supported by raised wooden sieve. Repairs made during the last restoration are visible, and the new irregularity in the upper extremities of the body is evident. The wooden pipes, as is well-known in Sicilian models, are on the back of the case. They are in wing formation with the mouths aligned. The good state of preservation is due to measures taken during the last restoration.*



*Figure 8. F. La Grassa, 1832, Church of S. Michele Arcangelo in Sciacca (AG). Example of case and wooden choir in white tempera and decorative elements in silver gilt in accordance with the decorations of the nave.*



*Figure 9. A. La Valle, 1626, Church of S. Pietro in Collesano (PA). Example of carved and gilded wooden case. The choir instead serves as a dais and has twelve paintings on canvas depicting Christ and the Apostles.*

**COMBINED APPLICATION OF X-RAY AND NEUTRON IMAGING TECHNIQUES TO WOOD MATERIALS** (colour figures)

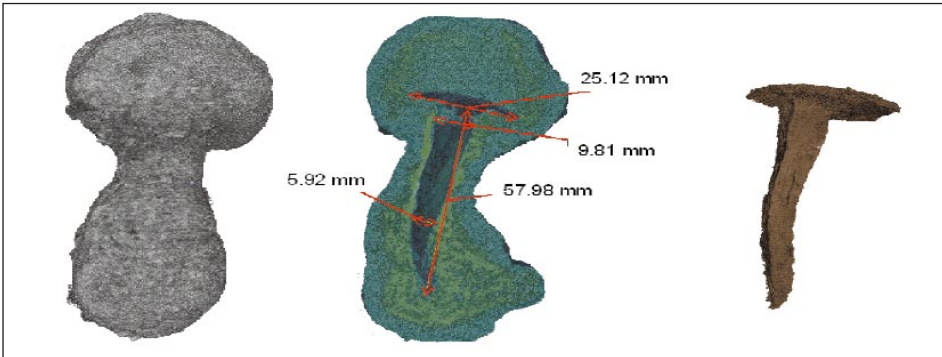


Figure 2. Tomographic reconstruction of a find recovered from a sunken ship. General view of the sample (left). Vertical cross section with shown dimensions (middle). Extraction of the hidden object from the calcareous matrix by image processing technique (right).

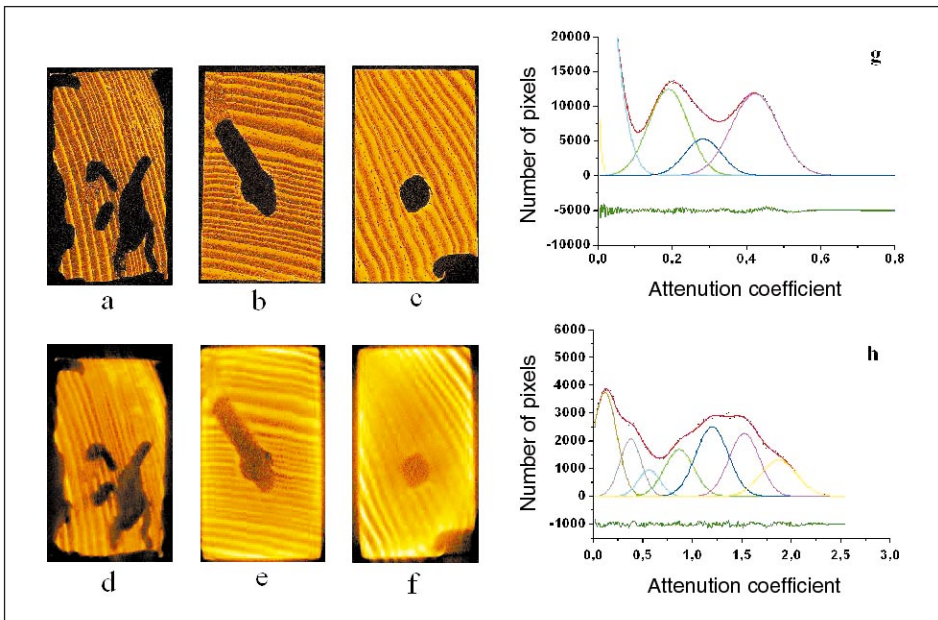


Figure 3. Images a) through f) show an internal slice of samples of *Pinus Silvestris* degraded by means of brown rot, obtained by means of XT (a, b, c) and NT (d, e, f) respectively. Two histograms (g, h) are shown next to the corresponding images (c and f). See text for details.

## OFF-LINE METHODS FOR DETERMINING AIR QUALITY IN MUSEUMS (colour figures)



Figure 1. Positioning the reactive tag in the case storing L'Annunziata.



Figure 5. SPME probe.



Figure 6. The probe in Display Hall No. VIII.

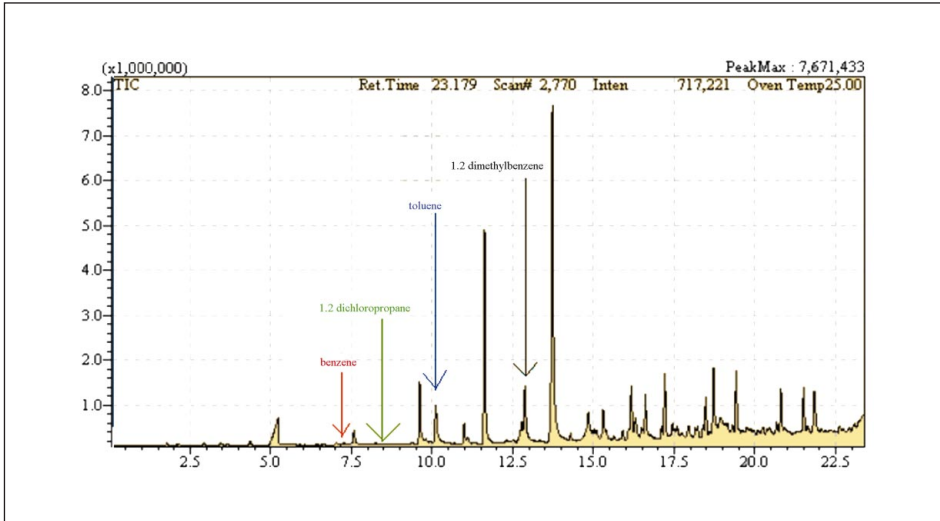


Figure 7. Chromatogram for Display Hall No. XII.

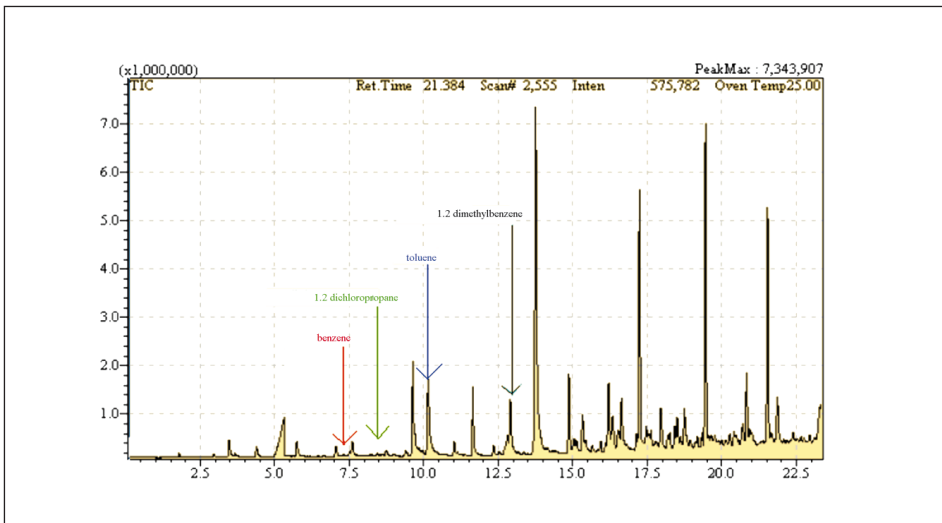


Figure 8. Chromatogram for Display Hall No. VIII.

**MICROSCOPY AND MOLECULAR BIOLOGY TECHNIQUES FOR THE STUDY OF BIOCENOSIS DIVERSITY IN SEMI-CONFINED ENVIRONMENTS**  
(colour figures)



*Figure 1. Entrance to the Grotto of the Saints, Licodia Eubea, Sicily.*



*Figure 2. Mural painting representing the Crucifixion of Jesus Christ inside the cave.*



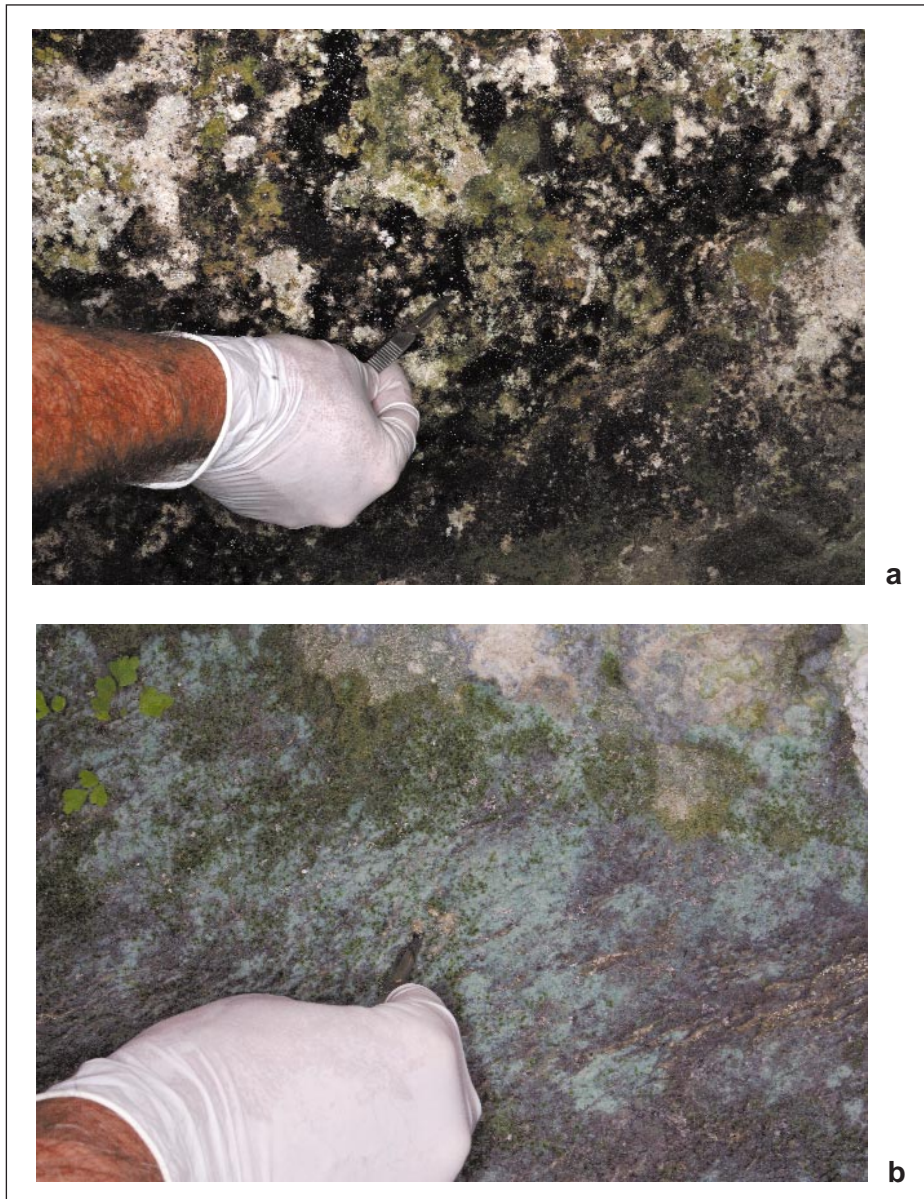


**a**



**b**

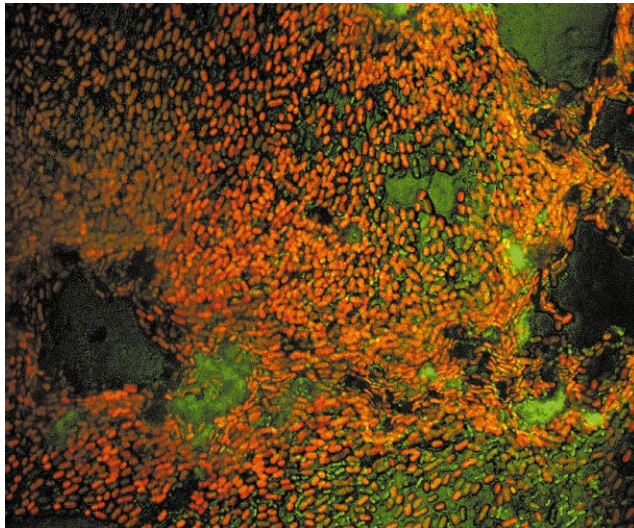
Figure 3. Micro-and macro biological systems colonizing the environments, showing: *Parietaria diffusa*, *Adiantum capellus-veneris* in Figure 3a, and Bryophytes in Figure 3b.



*Figure 4. Sampling of different coloured biofilms.*



*Figure 5. Insects present on the walls of the cave, Diptera, Brachycera.*



*Figure 6. CLS micrograph, showing cyanobacteria and microalgae biofilm.*

## AUGMENTED REALITY APPLIED TO THE DIAGNOSTICS AND FRUITION OF CULTURAL HERITAGE (colour figures)

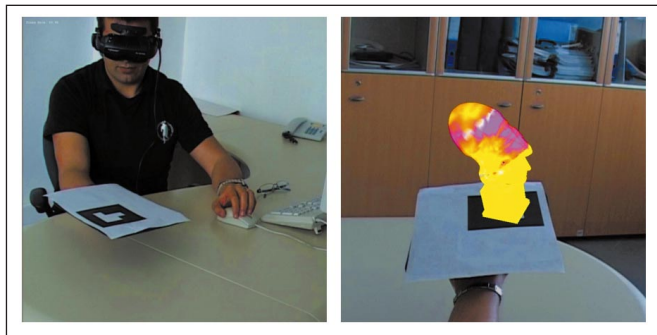


Figure 3. Use case illustrating the use of integrated data through an AR technique.

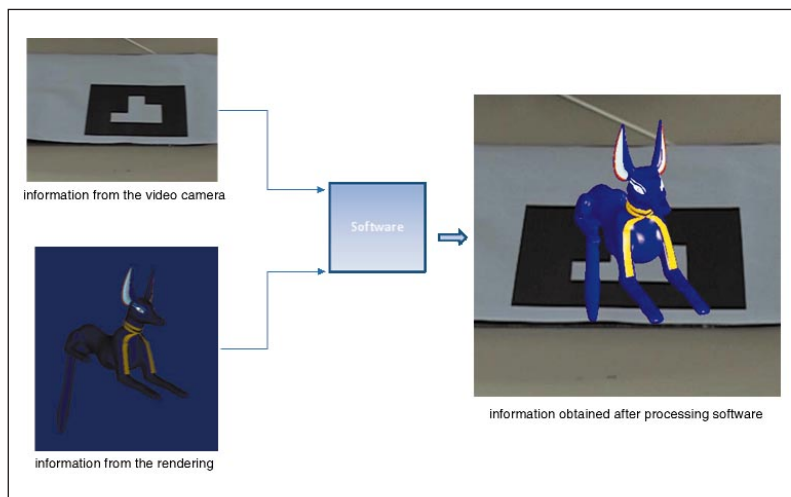


Figure 4. Use case illustrating the reconstruction and enhancing of cultural heritage.