

Scientifica



Computer Vision & Multimedia Lab (CVML)
del Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione dell'Università di Pavia
<http://vision.unipv.it>



Università di Pavia
<http://www.unipv.it>

**The printing is partially supported by grant DO1-192/2014
between ICT-BAS and the Bulgarian Ministry of Education and Science.**



Advanced Computing for Innovation
<http://www.iict.bas.bg/acomin/>



Institute of Information and Communication Technologies
<http://www.iict.bas.bg/EN/>

A cura di Edited by

Virginio Cantoni Dimitar Karastoyanov Mauro Mosconi Alessandra Setti

PAVIA
LA BATTAGLIA
IL FUTURO

1525 - 2015
NIENTE FU COME PRIMA

**CVML E
SMART LAB
ALLA MOSTRA**

PAVIA
THE BATTLE
THE FUTURE

1525 - 2015
NOTHING WAS THE SAME AGAIN

**CVML AND
SMART LAB
AT THE EXHIBITION**



Castello Visconteo di Pavia. 13 giugno - 29 novembre 2015
Visconti Castle, Pavia. June 13 - November 29 2015

Pavia University Press

Pavia, la battaglia, il futuro : 1525 – 2015, niente fu come prima : CVML e SMART lab alla mostra : Castello Visconteo di Pavia. 13 Giugno – 29 Novembre 2015 / a cura di Virginio Cantoni, Dimitar Karastoyanov, Mauro Mosconi, Alessandra Setti = Pavia, the battle, the future : 1525 – 2015, nothing was the same again : CVML and SMART lab at the exhibition : Visconti Castle, Pavia. June 13 – November 29 2015 / edited by Virginio Cantoni, Dimitar Karastoyanov, Mauro Mosconi, Alessandra Setti. – Pavia : Pavia University Press, 2016. – XIII, 96 p. : ill. ; 22 x 22 cm. - (Scientifica).

<http://archivio.paviauniversitypress.it/oa/9788869520365.pdf>

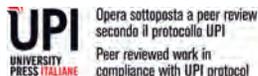
ISBN 978-88-6952-035-8 (brossura)

ISBN 978-88-6952-036-5 (e-book PDF)

© 2016 Pavia University Press – Pavia

ISBN: 978-88-6952-036-5

Nella sezione “Scientifica” Pavia University Press pubblica esclusivamente testi scientifici valutati e approvati dal Comitato scientifico-editoriale.
Texts published by Pavia University Press in the “Scientifica” series are peer-reviewed prior to acceptance by the Editorial Board.



I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento anche parziale, con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i paesi.

I curatori sono a disposizione degli aventi diritti con cui non abbiano potuto comunicare per eventuali omissioni o inesattezze.

No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage and retrieval system, without written permission from the editors.

Despite every effort to contact copyright-holders, the editors should be contacted as regards any omissions or errors.

Traduzione / Translation: Anthony Baldry

Prima edizione: maggio 2016 / First edition: May 2016

Pavia University Press – Edizioni dell’Università degli Studi di Pavia
Via Luino, 12 – 27100 Pavia (PV) Italia
<http://www.paviauniversitypress.it> – unipress@unipv.it

Stampato da / Printed by: DigitalAndCopy S.a.s., Segrate (MI)
Printed in Italy

Sommario

Contents

PREFAZIONE	ix	PREFACE
INTRODUZIONE	1	INTRODUCTION <i>V. Cantoni, A. Setti</i>
INTERFACCE UTENTE NATURALI	9	NATURAL USER INTERFACES <i>V. Cantoni, L. Lombardi, M. Porta, A. Setti</i>
INTERAZIONE OCULARE	13	GAZE-BASED INTERACTION <i>L. Merlano, N. Nugrahaningsih, M. Porta</i>
INTERAZIONE GESTUALE	23	GESTURE-BASED INTERACTION <i>L. Lombardi, P. Dondi</i>
MODELLAZIONE, RENDERING E STAMPA 3D	31	3D MODELING, RENDERING AND PRINTING <i>V. Cantoni, S. Gyoshev, D. Karastoyanov, S. Marconi, D. Marino, M. Pini, N. Stoimenov</i>
IMMAGINI TATTILI	47	TACTILE IMAGES <i>V. Cantoni, S. Gyoshev, D. Karastoyanov, M. Mosconi, M. Pini, A. Setti, N. Stoimenov</i>
CVML E EXPO 2015: INTERAZIONI MULTIMEDIALI E MULTIMODALI	73	CVML AND EXPO 2015: MULTIMEDIA AND MULTIMODAL INTERACTIONS <i>V. Cantoni, M. Mosconi, A. Setti</i>
CONCLUSIONI	91	CONCLUSIONS <i>V. Cantoni, L. Lombardi, M. Porta, A. Setti</i>

Prefazione

Il Computer Vision & Multimedia Lab (CVML) del Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione dell'Università di Pavia, in collaborazione con lo SmartLab dell'Istituto di Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione dell'Accademia delle Scienze di Bulgaria, ha partecipato all'allestimento della mostra "1525-2015. Pavia, la Battaglia, il Futuro. Niente fu come prima" – aperta al pubblico dal 13 giugno al 29 novembre 2015 – realizzando soluzioni multimediali e multimodali che hanno coinvolto i visitatori attraverso ricostruzioni 3D, simulazioni virtuali, interazione oculare e gestuale nella navigazione degli arazzi. È stata anche l'occasione per presentare alcune attività didattiche ed esperienziali realizzate dagli studenti della Facoltà di Ingegneria nell'ambito del corso di Computer Vision. Molta attenzione è stata data al tema dell'accessibilità e in particolare alla trasposizione in immagini tattili del contenuto degli arazzi, per consentirne la fruizione e l'esplorazione da parte di persone ipo- e non vedenti.

Le applicazioni multimediali/multimodali hanno ormai guadagnato un posto importante nel contesto dei Beni Culturali, specialmente sfruttando gli strumenti digitali emergenti per favorire esperienze più interattive. Le interfacce utente naturali rendono le nuove tecnologie trasparenti e offrono un ruolo attivo al visitatore, aumentandone il coinvolgimento e l'impatto con

Preface

The Computer Vision & Multimedia Lab (CVML) of the Department of Electrical, Computer and Biomedical Engineering of the University of Pavia, in co-operation with the SmartLab of the Institute of Information and Communication Technologies, Bulgarian Academy of Sciences, helped set up the "1525-2015. Pavia, the Battle, the Future. Nothing was the same again" Exhibition – open to the public from June 13 to November 29, 2015 – which used multimedia/multimodal solutions to involve the visiting public in the navigation of tapestries through 3D reconstructions, virtual simulations and gaze and gesture interactions. It was also the occasion when various educational and training activities for the students of the Faculty of Engineering were promoted and implemented during the Computer Vision course. Particular attention was given to accessibility through the transposition of the tapestries into tactile images, that could be used and explored by partially-sighted and blind people.

Multimedia/multimodal applications have now gained an important place in cultural heritage as they use emergent digital tools to facilitate more interactive experiences. Natural user interfaces have made the new technologies more transparent and have given the visiting public an active role, by increasing their involvement with exhibits and supporting their creativity and subjective discovery.

l'opera d'arte e sostenendone la creatività e la scoperta soggettiva.

La mostra di Pavia ha avuto un successo oltre le previsioni, non solo per il numero di visitatori, ma anche e soprattutto per il numero di persone che hanno cercato attivamente di utilizzare i nuovi strumenti di interazione, in particolare: immagini tattili e stampe 3D di personaggi e della città di Pavia; interazione gestuale e comportamenti in terza persona con l'avatar di un personaggio della battaglia; e certamente non ultima, la modalità di interazione oculare. Quest'ultima infatti, adeguatamente monitorata, ha fornito una prima base statistica significativa su ciò che i visitatori realmente hanno selezionato e osservato, dati veramente di pregio che ora sono disponibili agli analisti.

I curatori

**Virginio Cantoni, Dimitar Karastoyanov,
Mauro Mosconi, Alessandra Setti**

The success of the Pavia exhibition went beyond expectations, not just as regards the number of visitors. An impressive number of people actively tried out these new interactive tools that included: tactile images; 3D printing of characters and the city of Pavia; third-person gesture interaction and behavior through the use of an avatar to represent a character in the battle. Gaze interaction modality was far from being the least of these forms of interaction. Properly monitored, it provided a first significant statistical basis as regards what visitors really selected and observed, all very valuable data now available to analysts.

The Editors

**Virginio Cantoni, Dimitar Karastoyanov,
Mauro Mosconi, Alessandra Setti**

Le visualizzazioni digitali avanzate sono attualmente il supporto preferito per presentazioni destinate al pubblico e di tipo educativo riguardanti il patrimonio storico. Modelli 3D, avatar virtuali, interfacce multimodali intuitive, applicazioni tattili, e ambienti immersivi offrono opportunità senza precedenti per allestire mostre sul passato fondamentalmente nuove. Per attirare le giovani generazioni, le tradizionali esposizioni museali statiche sono trasformate in collezioni dinamiche di artefatti virtuali e reali strettamente integrati. La mostra "1525-2015. Pavia, la Battaglia, il Futuro. Niente fu come prima" ha implementato un nuovo approccio per la presentazione del patrimonio storico, fondendo arte e tecnologia e coinvolgendo i visitatori in un interessante percorso attraverso le sale del museo.

Advanced digital viewings have become the media of choice for public and educational historical heritage presentations. 3D models, virtual avatars, friendly multimodal interfaces, haptic applications and immersive environments now offer unprecedented opportunities to develop radically new presentations of the Past.

To attract the younger generation, traditional static museum exhibitions have been transformed into dynamic collections of closely interlinked virtual and physical exhibits. The "1525-2015. Pavia, the Battle, the Future. Nothing was the same again" Exhibition was a novel approach to presenting historical heritage that blended Art and Technology and involved the visitors in a captivating journey through the museum galleries.

Grazie al progetto *AComIn* (*Advanced Computing for Innovation*, EC FP7 grant 316087) del 7° Programma Quadro della Comunità Europea e il corrispondente contributo bulgaro DO1-192 per il cofinanziamento nazionale, un gruppo di ricerca dell'Istituto di Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione dell'Accademia delle Scienze di Bulgaria ha avuto la possibilità e l'onore di partecipare all'allestimento della mostra. I dispositivi 3D, acquistati per l'*AComIn Smartlab*, sono stati utilizzati per la preparazione della stampa 3D di personaggi e immagini tattili. I modelli 3D sono stati trasformati per adattarli allo specifico software di stampa; questa attività di collaborazione con il laboratorio CVML è stata condotta per lo più da studenti provenienti da Italia e Bulgaria. Il successo della mostra dimostra l'alta qualità del loro lavoro.

Una delle grandi sfide dell'Europa Digitale è quella di realizzare, con tecnologie multimodali in continua evoluzione, una trascrizione del patrimonio culturale e storico. Progetti congiunti, come quello della mostra, ci aiutano a capire come applicare al meglio le tecnologie emergenti per presentazioni educative più attrattive, significative e coinvolgenti.

Coordinatore AComIn e DO1-192
Galia Angelova

Thanks to the European Commission's Seventh Framework Project *AComIn* (*Advanced Computing for Innovation*, EC FP7 grant 316087) and the corresponding Bulgarian national co-financing grant DO1-192, a research team from the Institute of Information and Communication Technologies of the Bulgarian Academy of Sciences had the chance (and honour) to take part in the Exhibition. The 3D devices, purchased for the *AComIn SmartLab*, were used in the preparation of 3D printed figures and tactile matrices. A series of transformations were required to 'fit' the 3D models to the printing software; this collaborative activity with the CVML was performed mostly by students from Italy and Bulgaria. The success of the Exhibition is a demonstration of the high quality of their work.

One of the great challenges in Digital Europe is to build a constantly evolving digital memory based on shared cultural and historic heritage. Joint developments such as the Exhibition help us understand how to better integrate technology into more attractive, meaningful and all-inclusive presentations of the Past.

Coordinator of AComIn and DO1-192
Galia Angelova

“1525-2015. Pavia, la Battaglia, il Futuro. Niente fu come prima” è stata la grande mostra della città di Pavia per l'anno dell'Esposizione universale e forse la più importante manifestazione di sempre sugli eventi che videro la storia d'Europa passare dalla nostra città, una mattina del 1525.

Un'occasione di questa portata ci ha spinti a immaginare un percorso espositivo nel quale l'arte, la scienza e la tecnologia si incontrassero. Per

“1525-2015. Pavia, the Battle, the Future. Nothing was the same again” was the city of Pavia's Great Exhibition for the Universal Exposition year and perhaps the most important manifestation regarding the events that saw the hand of Europe's history pass over our city, one morning in 1525.

This great opportunity led us to envisage an exhibition in which art, science and technology could merge. In this connection, together with the

questo, insieme al magnifico arazzo prestatato dal Museo di Capodimonte, protagonista indiscusso, e alle avveniristiche ricostruzioni 3D sulle restanti opere del ciclo sulla Battaglia, una intera sala è stata dedicata agli esperimenti di cui leggerete in questo volume. Gran parte sono stati realizzati dagli studenti del corso di Computer Vision del nostro Ateneo, sotto la guida del Prof. Cantoni e dei suoi collaboratori, insieme a dottorandi italiani e bulgari nel contesto dell'importante progetto europeo sull'innovazione digitale *AComIn*.

Ci è sembrato molto importante fare in modo che un grande evento culturale costituisse anche un momento di incontro e di collaborazione tra Università e Città, nonché di grande arricchimento per gli studenti che costituiscono una delle più grandi risorse della nostra comunità.

A tutti va il ringraziamento mio e dell'Amministrazione per avere impreziosito con impegno questa importante esperienza.

Assessore alla Cultura, Comune di Pavia
Giacomo Galazzo

magnificent tapestry from the Museum of Capodimonte, the undisputed star, and the futuristic 3D reconstructions of the remaining tapestries of the battle, an entire section of the gallery was devoted to the experiments described in this book. Much has been made by students of the course of Computer Vision of our University, under the guidance of Prof. Cantoni and his collaborators, along with Italian and Bulgarian PhD students in the context of the important European project on digital innovation *AComIn*.

We considered it very important to turn a great cultural event into an opportunity for interaction and collaboration between the University and the City, as well as a source of great enrichment for students who are one of the most important human resources in our community.

To all I extend the Municipality's and my personal thanks for their precious enhancement of this important experience.

Councillor for Culture, Pavia Municipality
Giacomo Galazzo



Ringraziamenti

Siamo grati al Comune di Pavia e all'Università per aver promosso l'iniziativa, ai curatori Susanna Zatti (Direttore dei Musei Civici pavesi) e Luigi Casali (esperto di storia militare) per l'azione costante e professionale con cui hanno seguito l'attività in generale e la nostra azione in particolare. Il progetto della mostra è stato definito con Giacomo Galazzo (Assessore alla Cultura, Turismo, Expo 2015) e l'Aspen Institute Italia nella persona di Giulio Tremonti. Un ringraziamento particolare va al coordinatore del progetto AComIn, Galja Angelova, per l'efficace, competente e preziosa collaborazione. A Marco Galandra per i suggerimenti e per il supporto nelle scelte. A Carlo Berizzi e Ferdinando Auricchio, direttori rispettivamente dei Laboratori Architectural Maker Lab e ß-lab con i quali abbiamo operato per le stampe 3D monocromatiche. Un ringraziamento particolare va a Roberto Gandolfi per l'infaticabile assistenza e per averci risolto molti aspetti pratici e logistici; ai ricercatori e agli studenti del Laboratorio e del corso di Computer Vision. Elencare tutti è impossibile; molti sono citati con la presentazione delle loro opere nel seguito. A questi vorremmo esplicitamente aggiungere Marica Franzini, Nahumi Nugrahaningsih e Mariagrazia Semenza per la preziosa assistenza. Non ultimi sono da ringraziare gli autori tutti per l'entusiasmo dimostrato nell'iniziativa.

Un ringraziamento particolare va ad Anthony Baldry per il lavoro oneroso e straordinario nel 'riscrivere' la nostra versione inglese.

I curatori

Acknowledgments

We are grateful to the City and the University of Pavia for the promotion of the event, to the curators Susanna Zatti (Director of the Civic Museums of Pavia) and Luigi Casali (an expert on military history) for their constant and professional action in pursuing the initiative in general and our accomplishment in particular. The exhibition project was drawn up with Giacomo Galazzo (Councillor for Culture, Tourism, and Expo 2015) and the Aspen Institute Italy in the person of Giulio Tremonti. Special thanks should go to the coordinator of AComIn project, Galia Angelova, for her effective, competent and valuable collaboration and support. We would also like to extend our appreciation to Marco Galandra for his advice and support in the choices; to Carlo Berizzi and Ferdinando Auricchio, respectively Directors of the Architectural Maker Lab and ß-lab, for the 3D monochromatic printings. Special thanks go to Roberto Gandolfi for his tireless assistance and the solutions he found for many practical and logistical aspects and to the researchers and students of the CVML and the Computer Vision course. It is impossible to list them all, but many are cited with the presentation of their works in the sequel. We would also like to thank Marica Franzini, Nahumi Nugrahaningsih and Maria Grazia Semenza for their valuable assistance. Not least, we have to thank all the authors for the enthusiasm and efforts they put in to make this initiative so successful.

Special thanks should go to Anthony Baldry for his huge and exceptional job in 'rewriting' our English version.

The Editors

Introduzione Introduction

VIRGINIO CANTONI, ALESSANDRA SETTI

Dip. Ingegneria Industriale e dell'Informazione – Università di Pavia
Dept. of Electrical, Computer and Biomedical Engineering – University of Pavia

Negli ultimi anni i musei hanno accolto milioni di visitatori di gallerie e mostre. Tuttavia, pochi progressi sono stati fatti verso una comprensione concreta di ciò che un visitatore realmente vede quando guarda un'opera d'arte. Mentre alcuni visitatori hanno chiaramente un'esperienza di grande impatto, il visitatore medio presta attenzione a meno della metà degli oggetti esposti, spendendo non più di 30 secondi (in molti casi ancor meno) per ciascun singolo componente^{1,2}.

Gli strumenti multimediali di nuova generazione offrono un'efficace tecnologia che ha le potenzialità per svolgere un ruolo centrale nelle interazioni visitatore-opere d'arte. Si aprono così nuove opportunità per tutte le mostre rivolte ad un pubblico che dispone di una sempre maggiore familiarità con le nuove tecnologie multimediali. Quasi due decenni di ricerca sull'impatto cognitivo ed emotivo di arte e lavori creativi stanno fornendo soluzioni per la configurazione di spazi personalizzati e ottimizzati dalla tecnologia per migliorare l'esperienza del visitatore.

Spesso, in passato, la tecnologia digitale per il patrimonio culturale ha creato un rapporto tra visitatori e arte in cui la tecnologia ha oscurato l'arte e invece di attirare visitatori, spesso ha creato un divario tra i visitatori e i beni artistici. Questi stessi effetti possono essere prodotti anche da una

In recent years, museums have welcomed millions of visitors to their galleries and exhibitions. However, museums have made little progress towards a concrete understanding of what visitors actually see when they look at works of art. While the impact on some visitors is very strong, the average visitor stops at less than half the exhibits and spends less than 30 seconds on individual artifacts – in most cases, much less^{1,2}.

New generation multimedia is a powerful, emerging technology that can potentially play a major role as regards interactions between visitors and exhibits. New opportunities are being opened up for all exhibitions as regards engaging with the public, who are becoming increasingly familiar with the new forms of interactive multimedia. Nearly two decades of research into the cognitive and emotional impact of art and creative works are at last providing solutions in the arrangement and organization of technology-enhanced spaces that improve and customize visitors' experiences.

Often in the past, digital technologies for cultural heritage created ties between visitors and artifacts that led to the latter being overshadowed by technology. Rather than attracting visitors, they often created a gap between visitors and artifacts. Adverse effects were produced by allowing information to dominate meaning and

predominanza di informazioni sul contenuto semantico, da problemi di attenzione e sovraccarico cognitivo, da isolamento, ecc. Tutte queste situazioni sfavorevoli derivano principalmente da una mancata corrispondenza tra gli obiettivi dei curatori della mostra e le aspettative dei visitatori³.

Al giorno d'oggi, la continua crescita della tecnologia digitale ha cambiato le abitudini di visita alle mostre e anche il concetto di visitatore⁴. Le applicazioni multimediali hanno guadagnato il loro posto nel contesto dei Beni Culturali, sfruttando strumenti emergenti per favorire le esperienze più interattive⁵. Le interfacce utente naturali (*Natural User Interfaces* - NUIs) rendono la tecnologia trasparente, trasformando l'esperienza del visitatore in modo interattivo, consentendo la sperimentazione del contenuto. Le moderne tecnologie digitali per contesti storici e culturali costituiscono un campo di ricerca emergente che collega le persone, la cultura e le tecnologie^{6,7,8}.

Il *New Media Consortium* (NMC) è un consorzio internazionale non-profit di organizzazioni che si occupano di apprendimento e può essere considerato come l'ente che da più tempo a livello internazionale, esplora i nuovi media e le relative tendenze tecnologiche emergenti. Quasi ogni anno, un gruppo di circa 50 esperti considera il contesto museale su un orizzonte temporale di cinque anni^{9,10}. Secondo il "NMC Horizon Report: 2015 Museum Edition"¹¹, per i prossimi cinque anni (2015-2019) gli argomenti che più profondamente incideranno sulle finalità fondamentali dei musei sono i 18 rappresentati in figura 1.

Le discussioni sono state organizzate in tre categorie con riferimento temporale: a breve termine, legate al primo anno; a medio termine, relative approssimativamente al secondo e terzo anno; e a lungo termine, relative al quarto e quinto anno. Ogni termine è caratterizzato da due tendenze principali, le sfide e gli sviluppi della

significanza, by disturbing the visitor's attention, causing cognitive overload and visitor seclusion and so on. This unsatisfactory state of affairs arose mainly because of the mismatch between exhibition organizers' objectives and visitors' expectations³.

Nowadays, the digital age's constant growth and significance has changed the way exhibitions are organized as well as conceptions about visitors⁴. Multimedia applications have gained their rightful place in cultural heritage settings, leveraging emerging tools that foster more interactive experiences⁵. Natural User Interfaces (NUIs) are making technology transparent and are transforming visitors' exhibition going into a more interactive experience. Modern digital technologies which allow cultural and historical settings to be explored are thus an emerging research field that is connecting people, culture and technologies^{6,7,8}.

The New Media Consortium (NMC) is an international consortium of non-profit, learning-focused organizations that may be considered as the world's longest-running exploration of new media and emerging technology trends. Almost every year a panel of about 50 experts discusses the five-year horizon for museums^{9,10}. According to the "NMC Horizon Report: 2015 Museum Edition"¹¹, over the next five years (2015-2019) the 18 topics represented in figure 1 are very likely to impact on museums' core missions.

Their discussions have been grouped into three time-related categories: short-term (first year); medium-term, (second and third years); and long-term, (fourth and fifth years). Each term is underpinned by two main trends, challenges and developments in technology. Short-term trends relate to more participatory experiences for visitors and call for new and more extensive understanding of the term "visitor". Medium-term trends relate to the analysis of stati-

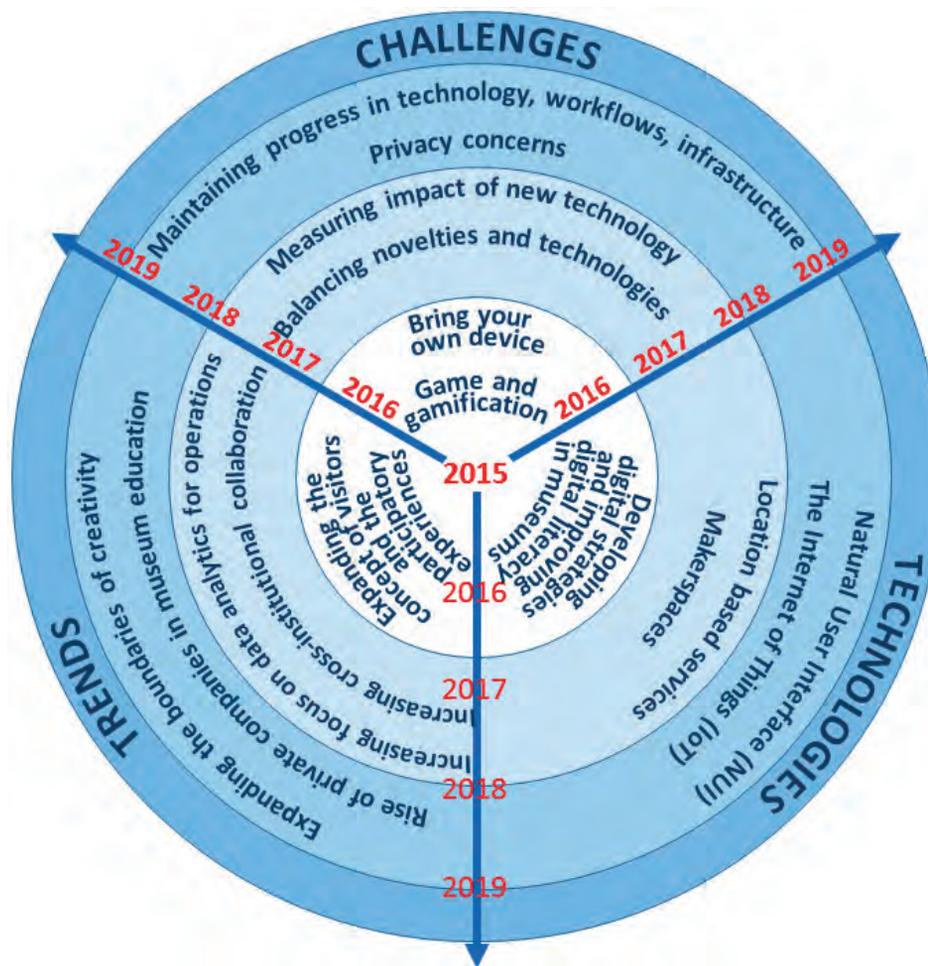


Figura 1. Tendenze principali, sfide e sviluppi tecnologici che avranno un impatto sui musei, sulle gallerie e sulle mostre nei prossimi cinque anni. **Figure 1.** Key trends, challenges and technological developments that will impact on museums, galleries and exhibitions over the next five years.

tecnologia. Le tendenze a breve termine riguardano esperienze che prevedono una maggiore partecipazione da parte dei visitatori, richiamando un nuovo concetto esteso di “visitatore”. Le tendenze di medio termine identificano come principale argomento di interesse l’analisi degli indicatori statistici riguardanti la digitalizzazione e la conservazione digitale, con nuove strategie per collaborazioni istituzionali trasversali. Le tendenze a lungo termine, infine, prevedono un

tecnologia. Le tendenze a breve termine riguardano esperienze che prevedono una maggiore partecipazione da parte dei visitatori, richiamando un nuovo concetto esteso di “visitatore”. Le tendenze di medio termine identificano come principale argomento di interesse l’analisi degli indicatori statistici riguardanti la digitalizzazione e la conservazione digitale, con nuove strategie per collaborazioni istituzionali trasversali. Le tendenze a lungo termine, infine, prevedono un

stics on digitization and digital preservation, with new strategic cross-institutional collaborations. Finally, long-term trends foresee a future in which emerging tools will be leveraged by creativity and experimentation, as well as by the increased involvement of private companies. In particular, three challenging sets of goals can be identified: i) the development, already under way, of digital strategies, combined with greater competence and advanced skills of museum

futuro in cui gli strumenti emergenti saranno utilizzati in maniera creativa e sperimentale, con un maggiore coinvolgimento di aziende private.

In particolare possono essere identificate tre coppie di obiettivi impegnativi: i) il già attivo sviluppo di strategie digitali, combinato con la maggior competenza e le abilità avanzate del personale museale, per comprendere meglio l'uso di una varietà di strumenti digitali; ii) lo sviluppo di protocolli standard per misurare il successo delle tecnologie, con riferimento a quelle sempre più al centro delle attività quotidiane (in particolare le strategie museali devono appagare le esigenze dei visitatori, attraverso un giusto equilibrio tra mondi online e offline); infine, iii) per il monitoraggio delle interazioni dei visitatori e del loro comportamento, l'adozione di infrastrutture tecniche per l'apprendimento digitale, la digitalizzazione del patrimonio e la produzione di contenuti in combinazione con la tutela della privacy.

Per quanto riguarda gli sviluppi tecnologici, l'attuale società, sempre più connessa, in questi cinque anni porterà sempre più a interfacce utente naturali, e anche allo sviluppo dell'*Internet of Things*.

L'attenzione per l'esperienza partecipativa nei musei, nelle gallerie e alle mostre rende ogni visita unica, integrando le conoscenze del visitatore sui reperti e sugli oggetti, rinforzando con visite multimodali dai formati e dai contenuti predisposti per aumentare l'impatto dell'esperienza, e, quindi, incoraggiando l'apprendimento auto-motivato. Questa modalità operativa sostiene la creatività e l'impegno dei visitatori e presenta le opere d'arte in modo nuovo, ma richiede anche lo sviluppo di nuovi approcci per la creazione e la progettazione di contenuti⁸. Lo sviluppo di strategie digitali postula sia l'alfabetizzazione digitale dei professionisti espositivi che lo sforzo di studiare i modi nei quali i visitatori sperimentano le opere d'arte nelle loro collezioni, per favorire la scoperta sogget-

staff, leading to better understanding of the use of digital tools; ii) the development of standard protocols measuring the success of technologies with reference to daily activities and, in particular, the need to meet visitors' expectations by striking a proper balance between online and offline worlds); iii) facilities for digital learning, asset digitization, content production, and privacy protection when tracking visitor interactions.

As regards developments in technology, today's already highly connected society is likely to lead increasingly in the next five years to natural user interfaces and to the development of an Internet of Things.

The focus that museums, galleries and exhibitions place on participatory experience makes every visit unique. Effectively, it integrates visitor knowledge into exhibits and objects. A multimodal visit is created with formats and contents that enhance the visitor's experience by encouraging self-motivated learning. This way of doing things supports visitor creativity and engagement and presents exhibits in new lights. However, it also requires new approaches to be developed as regards the way content in cultural spaces is created and designed⁸. The development of digital strategies calls both for greater digital literacy among exhibition professionals, greater efforts as regards studying ways in which visitors experience artifacts in their collections, and encouragement of discovery-like approaches that increase visitors' engagements with exhibits.

In keeping with these objectives, the European Commission has addressed the issue of museums' value as creative educational forces in a report entitled "Towards an Integrated Approach to Cultural Heritage for Europe"¹², which highlights the importance of digitization and e-learning tools in the support of new models for the management of cultural heritage. It is already common for visitors to enjoy the interaction

tiva e aumentare il coinvolgimento dei visitatori. In linea con questi obiettivi, la Commissione europea ha studiato il contributo dei musei come forze educative creative e prodotto un rapporto dal titolo “Verso un approccio integrato per i Beni Culturali per l’Europa”¹², che mette in luce l’importanza della digitalizzazione e degli strumenti di e-learning come mezzi per sostenere nuovi modelli di gestione dei beni culturali.

È già comune per un visitatore interagire con dispositivi che consentono movimenti naturali e gesti, fornendo ambienti emozionanti fruibili da un pubblico di diverse età ed esperienze. È da notare, tuttavia, che i bambini hanno maggiori probabilità di sentirsi coinvolti in mostre interattive rispetto agli adulti¹³. Queste innovazioni coinvolgono i visitatori a più livelli, producendo strumenti creativi accessibili anche a persone con disabilità. Questa è certamente una attuazione nuova e importante, perché, in aggiunta, i manufatti che non possono essere toccati o che non sono più disponibili possono rivivere virtualmente.

L’impatto della visita interattiva di mostre e musei può essere valutato qualitativamente e spesso anche quantitativamente. Possono essere potenzialmente derivate nuove conoscenze, ad esempio rilevando l’attenzione visiva dei visitatori di fronte al contenuto specifico di una mostra¹⁴, anche se il passaggio da ciò che un individuo vede a ciò che pensa circa le opere d’arte, per trovare le relazioni tra lo sguardo del visitatore e il suo pensiero, è ancora difficile.

La trasformazione digitale nelle mostre abbraccia l’espansione dei concetti di apprendimento e di coinvolgimento nel valore interpretativo di una esposizione. Secondo Susana Smith Bautista: «Se i musei vogliono rimanere rilevanti, vitali, e significativi, allora devono adattarsi a una società che cambia, che significa non solo riconoscere e incorporare i nuovi strumenti digitali per la co-

with devices that allow natural movements and gestures. They help build exciting environments for visitors from different age groups and with different backgrounds, with children, of course, being more likely to engage with interactive exhibits than adults¹³. They engage visitors on multiple levels and provide the disabled with new opportunities for access. Artifacts that cannot be touched or are no longer available can now be experienced virtually - a new and highly significant achievement.

The impact of this interactive experience is both qualitative and more often than not, quantifiable. New insights can be potentially derived, for example, by reporting visitors’ visual focus on a specific exhibit¹⁴. The transition from this to insights into the individual’s thoughts about exhibits and the relationship between a visitor’s viewing and thinking, is still challenging.

Digital transformation in exhibitions embraces the expansion of both the concepts of learning and involvement in the interpretative value of an exhibit. According to Susana Smith Bautista: «If museums are to remain relevant, vital, and meaningful, then they must adapt to a changing society, which means not only recognizing and incorporating new digital tools for communication but more importantly, recognizing the changing needs and aspirations of society as reflected in their communities of physical and virtual visitors»⁶.

A case study: The Pavia Exhibition

The Battle of Pavia on February 24, 1525 was a very important historical event: the opposing sides were the French army, led personally by King Francis I, and the Imperial army of Charles V, mainly Spanish infantry and German mercenaries, led on the field by Fernando d’Avalos and Charles of Bourbon. The battle ended with the clear victory for Emperor Charles V’s army and

municazione, ma ancora più importante, riconoscere le mutevoli esigenze e aspirazioni della società che si riflettono nelle loro comunità di visitatori fisici e virtuali»⁶.

Un caso di studio: la mostra di Pavia

La Battaglia di Pavia del 24 febbraio 1525 è stato un evento storico di notevole importanza: gli schieramenti videro contrapposti da una parte l'esercito francese, guidato personalmente dal re Francesco I, e dall'altra l'armata imperiale di Carlo V, costituita principalmente da fanteria spagnola e lanzichenecchi tedeschi e guidata sul campo da Fernando Francesco d'Avalos e Carlo di Borbone. La battaglia, che si concluse con la netta vittoria dell'esercito dell'imperatore Carlo V e la cattura del re Francesco I, consolidò la dominazione spagnola in Italia e, con l'entrata in campo delle armi da fuoco, chiuse il Medioevo e diede inizio all'età moderna – da cui la seconda parte del titolo della mostra “Niente fu come prima”.

the capture of King Francis I, strengthening Spanish domination in Italy. With the introduction of firearms into the battle, it marked the end of the Middle Ages gave rise to the modern age – as highlighted by the second part of the title of the Exhibition “Nothing was the same again.”

The seven tapestries, embroidered in Brussels between 1528 and 1531 and based on a drawing made by Bernard van Orley, a famous painter, tapestry-maker and stained glass window designer in the early part of the 16th century, were donated to the Emperor Charles V to celebrate the Imperial victory. Later, they became part of the Avalos collection, probably as gift of the Imperial family. In 1862, they were donated to the Italian State. Twenty years later, the tapestries became a permanent part of the collections of the *Museo Nazionale di Capodimonte*, Capodimonte Naples. They were restored and underwent delicate restoration at the end of the last century. The seventh tapestry, depicting the final phase of the



Figura 2. Manifesto della mostra allestita presso il Castello Visconteo di Pavia dal giugno al novembre 2015.

Figure 2. Poster for the exhibition at the Visconti Castle in Pavia (June to November 2015).

La serie dei sette arazzi, eseguita tra il 1528 e il 1531 a Bruxelles su disegni di Bernard Van Orley, celebre pittore e cartonista di arazzi e vetrate del primo '500, fu donata all'imperatore Carlo V per celebrare la vittoria degli imperiali. Entrò in seguito a far parte della collezione d'Avalos, probabilmente come dono della famiglia imperiale, e nel 1862 fu donata allo Stato italiano. Dopo vent'anni, entrò stabilmente nelle raccolte del Museo Nazionale di Capodimonte; fu restaurata e sottoposta ad una delicata operazione conservativa alla fine del secolo scorso. Il settimo arazzo della serie, quello che rappresenta la fase finale della battaglia sotto le mura della città, è stato temporaneamente esposto a Pavia per la prima volta in occasione dell'EXPO di Milano del 2015 (in figura 2 la locandina della mostra).

battle under the walls of the city, was temporarily on display in Pavia for the first time during EXPO Milan 2015 (the poster of the exhibition is shown in figure 2).

-
1. Hein G.E.: *Learning in the Museum*. London: Routledge (1998).
 2. Smith J.K., Smith L.F.: Spending time on art. *Empirical Studies of the Arts*, Vol. 19, No. 2, pp. 229-236 (2001).
 3. Worts D.: On the Brink of Irrelevance? Art Museums in Contemporary Society, in *Researching Visual Arts Education in Museums and Galleries: An International Reader*, Tickle L., Sekules V., Xanthoudaki M. (eds.), Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 215-233 (2003).
 4. Johnson L., Adams Becker S., Freeman A.: *The NMC Horizon Report: 2013 Museum Edition*. Austin: The New Media Consortium (2013).
 5. Lohr S.: Museums Morph Digitally: The Met and Other Museums Adapt to the Digital Age, *The New York Times*, Oct 23, (2014).
 6. Bautista S.S.: *Museums in the Digital Age: Changing Meanings of Place, Community, and Culture*. Lanham: Rowman & Littlefield (2014).
 7. Chen C., Wactlar H.D., Wang J. Z., Kiernan K.: Digital imagery for significant cultural and historical materials. *International Journal on Digital Libraries*, Vol. 5, No. 4, pp. 275-286 (2005).
 8. *Digital Heritage and Culture: Strategy and Implementation*, Din H., Wu S. (eds.), Singapore: World Scientific Publishing (2014).
 9. Johnson L., Adams Becker S., Witchey H., Cummins M., Estrada V., Freeman A., Ludgate H.: *The NMC Horizon Report: 2012 Museum Edition*. Austin: The New Media Consortium (2012).
 10. Just M.A., Carpenter P.A.: A Theory of Reading. From Eye Fixation to Comprehension. *Psychology Review*, Vol. 87, pp. 329-354 (1980).
 11. Johnson L., Adams Becker S., Estrada V., Freeman A.: *NMC Horizon Report: 2015 Museum Edition*. Austin: The New Media Consortium (2015).
 12. URL: <http://ec.europa.eu/culture/library/publications/2014-heritage-communication_en.pdf> consulted November 2, 2015.
 13. *3D-COFORM Tools & Expertise for 3D Collection Formation*. URL: <<http://www.3d-coform.eu/index.php>> consulted November 2, 2015.
 14. Damala A., Schuchert T., Rodriguez I., Moragues J., Gilleade K., Stojanovic N.: Exploring the Affective Museum Visiting Experience: Adaptive Augmented Reality (A2R) and Cultural Heritage. *Int. J. of Heritage in the Digital Era*, Vol. 2, No. 1, pp.117-142 (2013).

Interfacce utente naturali

Natural user interfaces

VIRGINIO CANTONI, LUCA LOMBARDI, MARCO PORTA, ALESSANDRA SETTI

Dip. Ingegneria Industriale e dell'Informazione – Università di Pavia

Dept. of Electrical, Computer and Biomedical Engineering – University of Pavia

Lo sviluppo della ricerca e della sperimentazione nell'interazione uomo macchina (Human-Computer Interaction - HCI) è iniziato tra gli anni '70 e '80, coinvolgendo inizialmente esperti in scienze cognitive, in scienze umane e di ergonomia¹. I lavori esplorativi che hanno portato alle interfacce utente sono state sviluppati in un primo momento nei laboratori di ricerca universitari.

Negli anni '90, l'HCI ha sperimentato una crescita esplosiva, e ha fondamentalemente cambiato le modalità di interazione alla fine del millennio. La figura 1 mostra i tempi approssimativi di sviluppo dei principali dispositivi di interazione (oltre alla 'tradizionale' manipolazione diretta di oggetti grafici basata su mouse). Si tratta di una versione aggiornata del grafico di Myers¹ e riassume le modalità strettamente legate alle nuove tecnologie multimediali sperimentate nella mostra allestita presso il Castello Visconteo di Pavia.

Le nuove soluzioni HCI sviluppate dalle aziende molto spesso traggono le loro radici dalla ricerca universitaria. L'interazione tra università, imprese dedicate alla ricerca e attività commer-

Developments in Human-Computer Interaction (HCI) research and practice began in the 1970s and 1980s, initially involving experts in cognitive sciences, human factors and ergonomics¹. The first exploratory steps leading to user interfaces were undertaken in university research laboratories. In the 1990s, HCI experienced an explosive growth, so much so that interaction with computers had fundamentally changed by the year 2000. Fig. 1 gives approximate timelines for the major interactive technologies (excluding 'traditional' mouse-based direct manipulation of graphical objects). Based on Myers¹, Fig. 1 provides an updated version that lists modes of interaction closely linked to the new media technologies used in our exhibition at the Visconti Castle in Pavia.

New HCI solutions developed by companies are, of course, very often rooted in university research. However, this interaction between universities, corporate research and commercial activities is constantly increasing, and is a trend that is likely to be confirmed.

ciali è in costante aumento, e questa tendenza sarà probabilmente confermata anche nello sviluppo di future interfacce.

L'idea di fornire agli utenti interazioni di tipo naturale, sfruttando movimenti simili a quelli eseguiti nel mondo reale, non era nuova. Tuttavia, solo i dispositivi più recenti consentono esperienze di interazione sufficientemente robuste e intuitive. Sfruttando la convergenza di tecnologie di rilevamento di gesti e sensori visivi e vocali, gli esseri umani possono interagire con i computer 'comunicando le loro intenzioni' con movimenti del corpo, espressioni facciali, movimento degli occhi e voce. Il pieno potenziale di queste interfacce utente di tipo naturale (*Natural User Interfaces* - NUIs) non è stato ancora raggiunto, ma miglioramenti rapidi e costanti stanno portando a dispositivi di interazione per la manipolazione di contenuti poco costosi e molto robusti.

Le NUIs hanno un grande impatto nei contesti educativi. I bambini utilizzano strumenti

While the idea of providing users with natural interactions, involving movements akin to those performed in the real world, is nothing new, only recently have devices reached the stage where the interactions they enable have become sufficiently robust and intuitive to be acceptable. By exploiting the interplay between various technologies, users can interact with computers by 'communicating their intentions' with gestures, facial expressions, eye input and voice. The full potential of these Natural User Interfaces (NUIs) has not been yet achieved, but the rapid and constant improvements in them are leading to inexpensive and robust interaction devices for content manipulation.

NUIs have profound effects in educational contexts. Children use NUI tools and mechanisms quite naturally, without thinking about them, without help or instruction. Together with learning, leisure activities have been the major focus of NUIs. Perhaps, even more than for leisure and learning environments, as NUIs have become

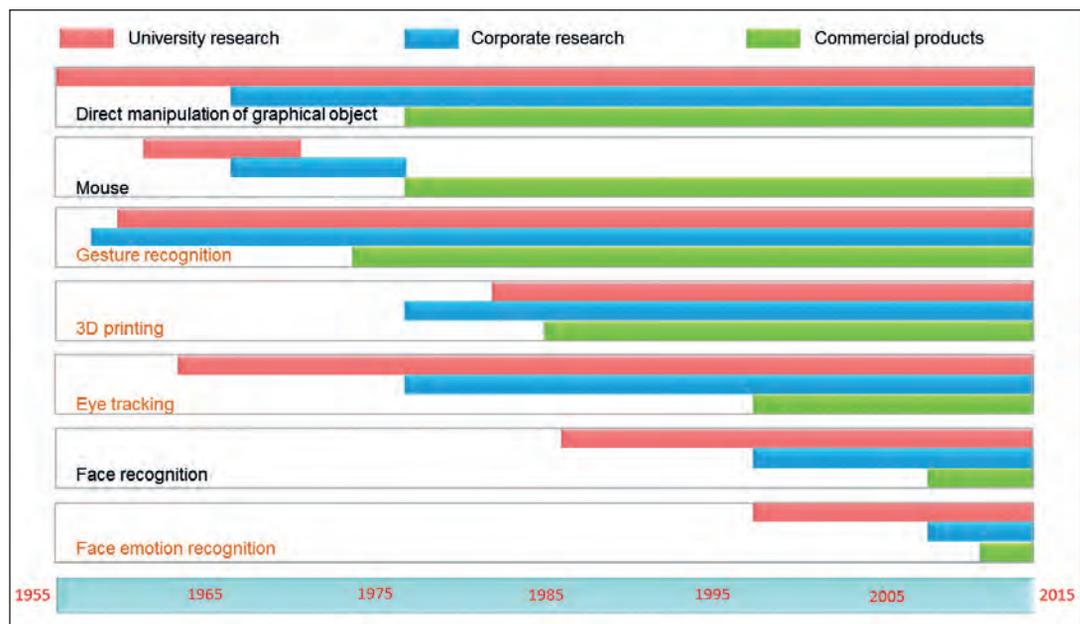


Figura 1. Scansione temporale relativa alle principali tecnologie interattive. Quelle di base utilizzate nella mostra al Castello di Pavia sono evidenziate in colore arancio.

Figure 1. Approximate timelines for major interactive technologies. The basic technologies used for the exhibition are shown in orange.

e meccanismi NUIs in maniera naturale, senza pensarci, senza aiuto o istruzione. Insieme all'apprendimento, le attività ludiche sono state l'obiettivo principale delle NUIs. Forse, ancor più che per gli ambienti di svago e di apprendimento, poiché le NUIs diventano sempre più comuni, musei e mostre hanno ora la possibilità di utilizzare queste modalità per creare nuove forme di interpretazione e presentazione. Mentre, negli ultimi anni, il dibattito è stato focalizzato principalmente sugli strumenti e sulle tecnologie, oggi c'è stato uno spostamento di alto livello: la discussione è sui risultati di apprendimento e di interpretazione.

Le NUIs, fornendo al visitatore una interazione diretta con l'ambiente e il contenuto, consentono l'implementazione di mostre ed esibizioni utili ad integrare realizzazioni su larga scala. La multimedialità offre il vantaggio di presentare le informazioni in modo trasparente e vario, senza la "distanza" che caratterizza le interfacce tradizionali, offrendo modi di visitare le mostre efficaci, esperienziali e guidati dalle idee. Questo è già stato verificato nei centri scientifici e nei musei dedicati ai bambini, ma anche in alcuni musei "a oggetti" tradizionali, dove il desiderio di toccare e manipolare opere d'arte è molto frequente nei visitatori. Grazie alle NUIs, i limiti dovuti alla conservazione e preservazione degli oggetti esposti possono essere superati.

Inoltre le NUIs sono fondamentali per agevolare i visitatori disabili, che purtroppo non possono beneficiare di mostre dal design tradizionale. La tecnologia multimediale supporta molte modalità alternative di interazione, che possono essere sfruttate per migliorare l'accessibilità; infatti possono essere d'aiuto per utenti non vedenti e non udenti, così come per persone con autismo, dislessia e altre disabilità, sostenendo e agevolando l'interazione attraverso il tatto, la voce, gli occhi e i gesti.

increasingly common, museums and exhibitions have seized the opportunity to use them to create new forms of interpretation and presentation. While until recently, the debate was primarily about tools and technologies, today it is about learning and interpretation outcomes, a remarkable shift.

By providing the visitor with direct interaction with the environment and the content, NUIs allow exhibits and galleries to incorporate large-scale realizations. Multimedia brings the advantage that information is presented transparently and in a variety of modes, without the "distance" that characterizes traditional interfaces. NUIs offer effective, experiential and idea-driven ways to visit exhibitions. This is similar to what occurs in science centers and children's museums, but also in traditional "object-based" museums where the desire on the part of visitors to touch and manipulate exhibits is very frequent. Thanks to NUIs, constraints regarding the preservation and conservation of exhibits can be circumvented.

NUIs are a crucial support for disabled visitors who cannot enjoy traditional exhibition designs. Multimedia technology supports many alternative modes of interaction, enhancing access for the disabled. NUIs can be of help for blind and deaf users, as well as for people with autism, dyslexia and other disabilities, supporting and facilitating interaction through touch, voice, eyes and gestures.

-
1. Myers Brad A.: A Brief History of Human Computer Interaction Technology. *ACM interactions*, Vol. 5, No. 2, pp. 44-54 (1998).

Interazione oculare

Gaze-based interaction

LORENZO MERLANO, NAHUMI NUGRAHANINGSIH, MARCO PORTA

Dip. Ingegneria Industriale e dell'Informazione – Università di Pavia

Dept. of Electrical, Computer and Biomedical Engineering – University of Pavia

Fin dalle prime ricerche svolte negli anni '60, le tecniche per la determinazione della direzione dello sguardo sono state una parte importante della psicologia cognitiva e di molti altri campi di studio. Alfred Lukyanovich Yarbus, in particolare, può essere considerato il padre degli studi di *eye tracking* (Fig. 1). In un famoso esperimento, Yarbus scoprì che i movimenti oculari di soggetti diversi che osservano uno stesso dipinto erano simili, ma non identici; inoltre, scoprì che ripetendo gli esperimenti in tempi diversi con gli stessi soggetti venivano prodotti movimenti oculari molto simili, ma mai gli stessi¹. Era chiaro, tuttavia, che la somiglianza di movimento degli occhi di uno specifico osservatore fosse maggiore di quanto non lo fosse tra osservatori diversi.

Le apparecchiature scientifiche per l'eye tracking diventarono più disponibili negli anni '70, ma prevedevano hardware complesso e costoso e spesso ponevano limiti ai movimenti della testa dell'utente. Alla fine degli anni '70, l'attenzione della ricerca si è focalizzata sul collegamento tra eye tracking, attenzione visiva e cognizione. Di particolare interesse è stata la cosiddetta *Eye-Mind Hypothesis*^{2,3}, secondo la quale vi è una

Since the 1960s, when the first steps were undertaken in this research field, techniques for measuring gaze have become an important part of cognitive psychology and many other fields of study. Alfred Lukyanovich Yarbus, in particular, is considered by many as the father of eye tracking studies (Fig. 1). In a famous experiment, Yarbus discovered that when a painting was observed, the eye movements of different people were similar but not identical; he also found that repeating the experiments at different times with the same people produced very similar eye movements, but never identical ones¹. Clearly, however, the similarities in eye behavior for a specific observer were far greater than those between different observers.

In the 1970s, scientific equipment for eye tracking advanced considerably, but involved complex and expensive hardware that often constrained the user's head movement. By the late 1970s, the research focus was on the link between eye tracking, visual attention and cognition and, in particular, the *Eye-Mind Hypothesis*^{2,3}, which holds that a direct correspondence between a user's gaze and the point of attention exists. As

corrispondenza diretta tra lo sguardo dell'utente e il suo punto di attenzione. Come dimostrato da diversi esperimenti, mentre è possibile spostare il centro dell'attenzione senza muovere gli occhi, il contrario è molto più difficile⁴.

Negli anni '80, l'Eye-Mind Hypothesis è stata spesso messa in discussione alla luce dell'attenzione di tipo *cover* (nascosta), cioè l'attenzione rivolta a qualcosa che non è nello spazio ristretto di fissazione. Secondo Hoffman, "attualmente si concorda sul fatto che l'attenzione visiva è sempre leggermente (da 100 a 250 ms) più veloce dell'occhio"⁵. Tuttavia, non appena l'attenzione si sposta su un nuovo elemento, gli occhi tenderanno a seguirla. L'Eye-Mind Hypothesis, grazie alla sua semplicità, viene ampiamente sfruttata nella valutazione delle interfacce utente, ma anche in altri settori, come ad esempio in studi sulla lettura o sulla pubblicità online⁶.

Il paradigma dello "sguardo contingente" (*gaze-contingency paradigm*) è uno schema generale per modificare le informazioni presentate sullo schermo a seconda di ciò che l'utente sta guardando⁷. A causa di un accoppiamento imperfetto tra attenzione palese (*overt*) o nascosta (*covert*), non è possibile sapere esattamente, basandosi sulle posizioni delle fissazioni, quali informazioni visive l'utente sta elaborando. Tuttavia, sfruttando i paradigmi dello sguardo contingente lo stimolo sul display viene continuamente aggiornato in funzione della posizione dello sguardo degli osservatori: controllando le informazioni mostrate, è possibile eliminare qualsiasi ambiguità su ciò che è fissato e ciò che viene elaborato.

Slavko Milekic^{8,9}, fornisce una panoramica sull'interazione visuale e le sue potenziali applicazioni per musei e mostre. La tecnologia dell'eye-tracking offre ai musei la possibilità di studiare e misurare l'attenzione del visitatore durante l'osservazione di opere d'arte, per indagare la correlazione tra interpretazione suggerita ed

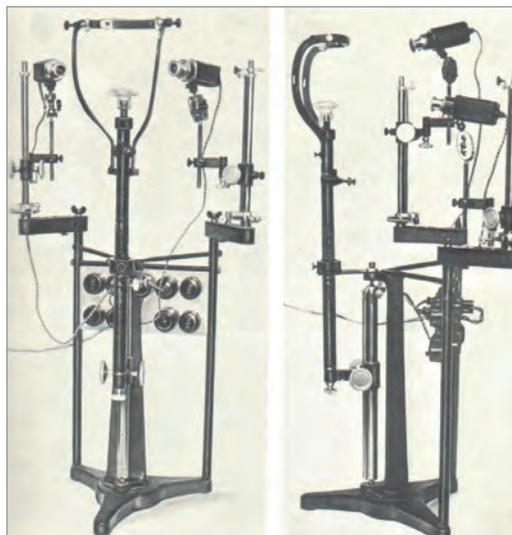


Figura 1. L'eye tracker di Yarbus, anni '60. Da: Yarbus A. L.: *Eye Movements and Vision*. New York: Plenum Press (1967), (originariamente pubblicato in russo nel 1962).

Figure 1. Yarbus eye tracker from the 1960s. Source: Yarbus A. L.: *Eye Movements and Vision*, . New York: Plenum Press (1967) (originally published in Russian in 1962).

demonstrated by several experiments, while it is possible to shift the focus of attention without moving the eyes, the opposite is much more difficult to achieve⁴.

During the 1980s, the Eye-Mind Hypothesis was often questioned in the light of covert attention, i.e. the attention to something that is not in the fixation restricted neighborhood. According to Hoffman, "current consensus is that visual attention is always slightly (100 to 250 ms) ahead of the eye"⁵. However, as soon as the attention moves to a new position, the eyes will want to follow. Due to its simplicity, the Eye-Mind Hypothesis is widely adopted in the evaluation of user interfaces, but also in other areas, such as studies on reading or online advertising⁶.

The gaze-contingency paradigm is a general framework used to change the information presented on the monitor depending on what the user is looking at⁷. Due to an imperfect coupling between overt and covert attention, it is not possible to know exactly what visual information the viewer is processing based on fixation locations.

effettiva comprensione, e per stimolare contenuti interpretativi. In realtà, questa tecnologia offre la possibilità di esplorare e implementare diverse modalità di interazione, che possono essere utilizzate per migliorare l'esperienza dei visitatori. L'eye tracking può potenzialmente cambiare il modo con cui ci relazioniamo con le arti, e offrire un'opportunità diretta di studio delle diverse e importanti caratteristiche di una visita museale, evidenziando le condizioni e i fattori che la influenzano. Ad esempio, l'eye tracking consente di misurare in modo affidabile quanto tempo un visitatore trascorre osservando un'opera d'arte.

Lo studio del comportamento visivo di un visitatore di una mostra richiede la soluzione di due sottoproblemi: l'identificazione dello sguardo e la sua analisi. Le tecniche di eye tracking hanno lo scopo di individuare la direzione dello sguardo dell'utente, attraverso l'identificazione delle pupille e di riflessi corneali (solitamente prodotti da luce infrarossa). Le coordinate dello sguardo possono poi essere analizzate nella loro evoluzione temporale. Fissazioni e percorsi visivi consentono di valutare l'interesse dell'utente. Ad esempio, il tempo trascorso a fissare un oggetto fornisce informazioni su quanto si è interessati all'oggetto stesso. Inoltre, l'interazione visuale può offrire contenuti 'aumentati'; ad esempio, l'utente può ingrandire e analizzare più dettagliatamente diverse parti di un'immagine semplicemente fissandola.

Per determinare l'applicabilità di queste tecniche nei musei, il primo problema è la scelta dell'hardware da utilizzare: naturalmente i dispositivi da indossare sulla testa non possono essere considerati, in quanto l'esperienza del visitatore dovrebbe essere la più naturale e "trasparente" possibile. Sono stati proposti diversi metodi e dispositivi per il tracciamento oculare, ma attualmente la tecnica più diffusa e commercialmente disponibile è quella che sfrutta l'illuminazione ad

However, in gaze-contingent paradigms the stimulus on a display is continuously updated as a function of the observers' current gaze position: by controlling the information feed, it is possible to eliminate any ambiguity about what is fixated and what is processed.

Slavko Milekic^{8,9} provides an overview of gaze interaction and its potential applications for museums and exhibitions. Eye-tracking technology gives museums the chance to study and measure a visitor's attention vis-à-vis exhibits, investigate the correlation between suggested interpretations and a visitor's comprehension and inspire delivery of interpretative content. In fact, it makes it possible to explore and model various modes of interaction that can be used to improve visitor experience. Eye tracking has the potential to change the way we relate to art, and offers a direct method for studying several important features of an exhibition visit, reporting on conditions and factors affecting it. For example, it makes it possible to measure the amount of time a visitor spends looking at an exhibit in a reliable way.

The study of an exhibition visitor's visual behavior requires two sub-problems to be solved: gaze estimation and gaze analysis. The goal of eye tracking is to establish the direction of a user's gaze, by identifying pupils and corneal reflections (usually by infrared light). Gaze coordinates may then be analyzed over time. Fixations and scanpaths allow the user's interest to be assessed. For example, the time spent by users fixating an object provides information on how interested they are in the object itself. Gaze interaction can also exploit 'augmented' content; for instance, the user can zoom in on different parts of an image just by looking at them.

To determine whether these techniques can be used in a museum, the first hurdle to be overcome is deciding on the hardware to be used: head-mounted devices are ruled out as the visi-

infrarossi. La direzione dello sguardo è determinata mediante l'analisi della posizione della pupilla e dei riflessi corneali (cioè punti di riflessione dalla luce infrarossa sulla cornea¹⁰). I prezzi degli eye tracker sono in costante diminuzione, e sono attualmente disponibili anche dispositivi molto economici. In particolare, per la mostra sulla Battaglia di Pavia, tra le soluzioni più economiche disponibili si è deciso di utilizzare l'*ET100 - The Eye Tribe Tracker*¹¹, di piccole dimensioni (20 x 1.9 x 1.9 cm) e adatto a monitor fino a 24". In Tabella 1 ne sono riportate le specifiche tecniche.

Ognuna delle tre postazioni eye tracking presenti alla mostra era composta da un normale PC, da un monitor Full HD 24 pollici e dall'eye tracker EyeTribe. Nel seguito se ne illustra brevemente il funzionamento.

Quando la postazione non è utilizzata, viene visualizzata la finestra mostrata in figura 2, il cui scopo è quello di attrarre l'attenzione del visitatore e fornire informazioni preliminari. Inoltre una voce invita, ad intervalli regolari, a "controllare il

tor's experience should be as natural and "transparent" as possible. Various types of eye tracking equipment and methods have been proposed, but currently infra-red illumination is the one which is commercially available and most widely used. Direction of gaze is determined by analyzing the position of the pupil and corneal glints (i.e. spots of infra-red light reflected on the cornea¹⁰). The cost of eye trackers is constantly decreasing, and very cheap devices are now available. For the *Battle of Pavia Exhibition*, the *ET100 - The Eye Tribe Tracker*¹¹ was chosen: as well as being one of the cheapest, it is small (20 x 1.9 x 1.9 cm) and suitable for monitors up to 24". Table 1 gives its technical specifications.

Each of the three eye tracking systems used at the exhibition consisted of an ordinary PC, a

Sampling rate	30 / 60 Hz
Accuracy	0.5 – 1 degrees
Working range	45 – 75 cm
Trackbox	40 x 30 cm at 65 cm distance (30Hz)

Tabella 1. Specifiche tecniche dell'eye tracker ET100.
Table 1. ET100 technical specifications.



Figura 2. Schermo della postazione eye tracking quando non viene utilizzata.
Figure 2. Eye tracking system screen in the unused state.

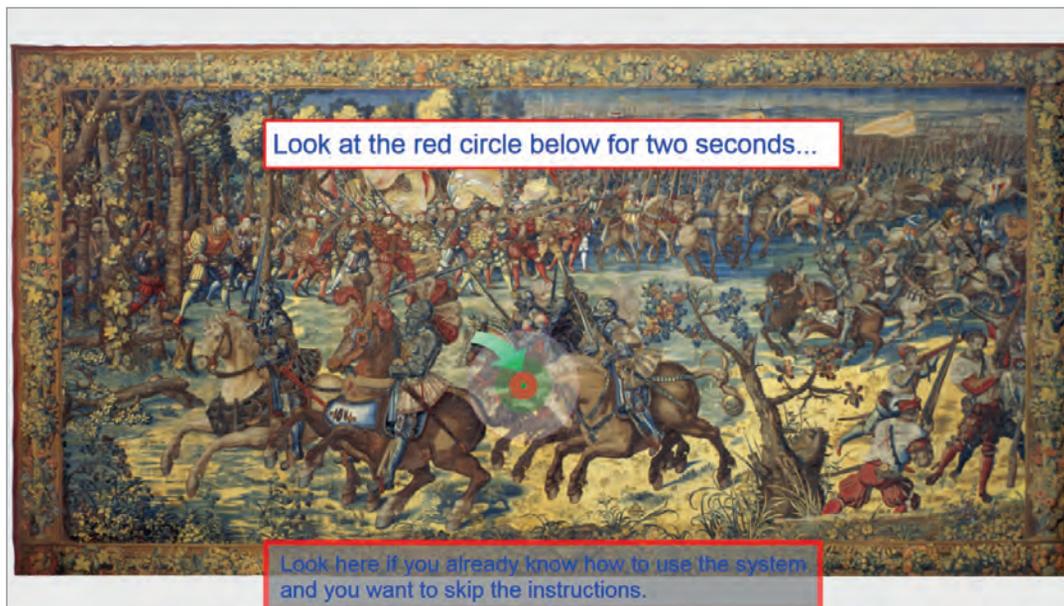


Figura 3. Fase iniziale del tutorial.

Figure 3. Initial phase of the tutorial.

computer” usando semplicemente lo sguardo.

Non appena l’eye tracker rileva gli occhi di un visitatore, viene avviata una breve procedura di calibrazione che consiste nel seguire un cerchio che si sposta sullo schermo. Dopo la scelta della lingua (italiano o inglese, selezionata guardando appositi “bottoni”), un tutorial guida il visitatore attraverso le funzionalità del sistema, illustrando le sue caratteristiche e le modalità di interazione (si vedano ad esempio le figure 3 e 4).

In generale, fissando un punto qualunque dello schermo per due secondi viene visualizzato un menu grafico che comprende quattro “icone di controllo” (Fig. 4). Le operazioni di ingrandimento e rimpicciolimento (*zoom in* e *zoom out*) avvengono guardando, rispettivamente, una lente con i simboli “più” e “meno” per due secondi.

Per visualizzare un altro arazzo, il visitatore deve semplicemente fissare l’icona di controllo superiore (quella con i sei quadrati). Appare quindi la schermata mostrata in figura 5, e la scel-

24” Full HD display and the EyeTribe device. We need to understand how it works more precisely.

When the eye tracking system is not being used, the window shown in Figure 2 is displayed, with a view to attracting visitors and providing preliminary information. Moreover, from time to time, a voice invites users to control the computer simply by using gaze.

As soon as the eye tracker detects a visitor’s eyes, a short calibration procedure starts, consisting of following a moving circle on the screen. After choosing the preferred language (Italian or English, selected by looking at the corresponding panels), a tutorial guides the visitor through the system’s functions illustrating its features and modes of interaction (Figs. 3 and 4).

In general, by fixating any point of the screen for two seconds a visual menu consisting of four “control icons” is displayed (Fig. 4).

Zooming in and out operations are made possible by looking, respectively, at ‘plus’ and ‘minus’

ta dell'arazzo è effettuata osservando l'immagine corrispondente. Quando l'immagine di un arazzo

lens icons for two seconds. To choose another tapestry to display, the visitor simply has to look



Figura 4. Una fase del tutorial: visualizzazione delle icone di controllo.

Figure 4. A phase of the tutorial: display of control icons.



Figura 5. Selezione di un nuovo arazzo.

Figure 5. Selection of a new tapestry image.



Figura 6. Esempio di “area sensibile” con relativo “box informativo”.

Figure 6. Example of “sensitive area” with corresponding “informative box”.

è ingrandita, le operazioni di scrolling avvengono guardando i bordi dello schermo (con velocità proporzionali alla distanza dal centro).

In ogni arazzo sono anche presenti delle “aree sensibili”: quando il visitatore ne osserva una, viene mostrato un “box informativo” che fornisce informazioni corrispondenti (Fig. 6). Le aree sensibili sono evidenziate da un rettangolo giallo semitrasparente. Per far scomparire un box informativo basta spostare lo sguardo al suo esterno.

L'icona di controllo “Stop” del menù visuale fa terminare l'interazione col sistema. Il visitatore può quindi decidere se guardare il gaze replay (Figg. 7 e 8). Se viene selezionato “yes”, inizia il gaze replay. Cerchi rossi vengono utilizzati per indicare le fissazioni, mentre linee gialle rappresentano le saccadi. I cerchi si ingrandiscono gradualmente fino a raggiungere una dimensione che è proporzionale alla durata delle corrispondenti fissazioni. Al visitatore viene anche fornito un codice che può essere usato per scaricare i suoi

at the upper icon (the one with six squares). The screen shown in Figure 5 then appears, and the tapestry can be selected by watching the corresponding image. When a tapestry image is enlarged, scrolling operations are performed by looking at the four edges of the screen (with a scroll speed proportional to the distance from the center).

Additionally, there are some “sensitive areas” in each tapestry. When the visitor looks at one of them, an “information box” appears providing related information (Fig. 6). Sensitive areas are highlighted with a semitransparent yellow rectangle. The information box disappears, simply by shifting one’s gaze outside the box. The ‘Stop’ control icon in the visual menu ends interaction with the system. The visitor can decide whether to watch the gaze replay (Figs. 7 and 8). If “yes” is selected, the gaze replay starts. Red circles indicate fixations, while yellow lines represent saccades. Circles gradually enlarge to a size that depends

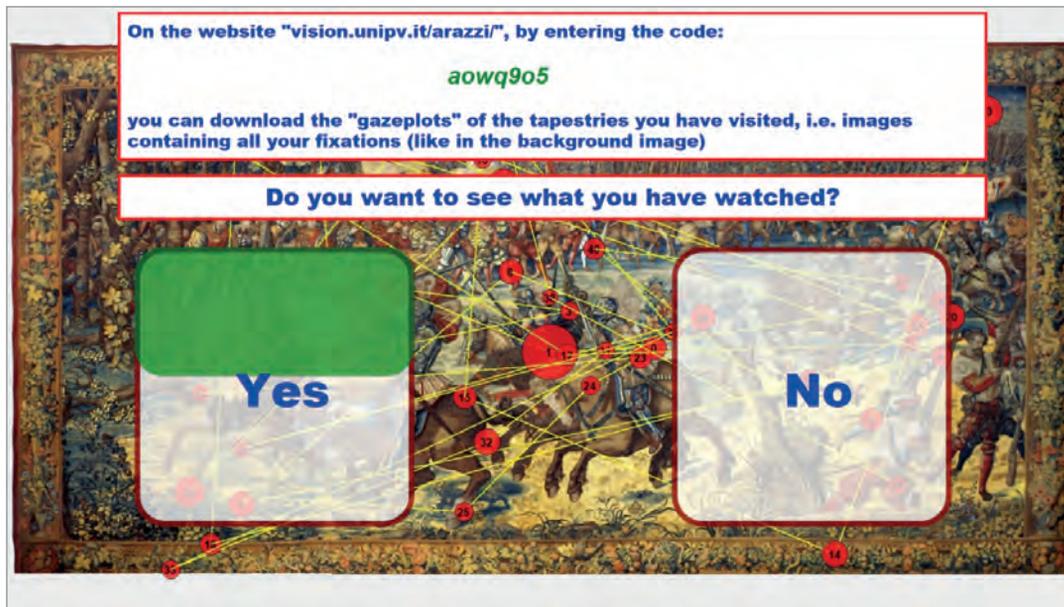


Figura 7. Schermata finale dell'interazione con il sistema di tracciamento oculare.
Figure 7. Final screen of the interaction with the eye tracking system.

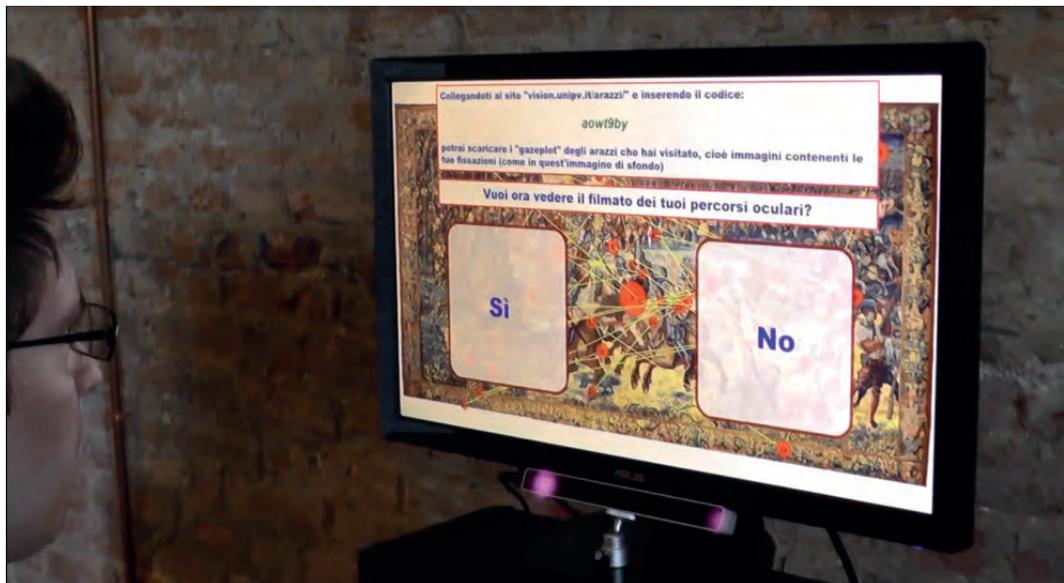


Figura 8. Un visitatore durante l'interazione col sistema (si può notare l'eye tracker immediatamente sotto il monitor).
Figure 8. A visitor interacting with the system (the eye tracker can be seen just below the screen).

gazeplots dal sito <<http://vision.unipv.it/arazzi>> (Fig. 7). Il *gazeplot* è una rappresentazione sta-

one della durata delle fissazioni associate. Il visitatore è inoltre fornito con un codice che può essere

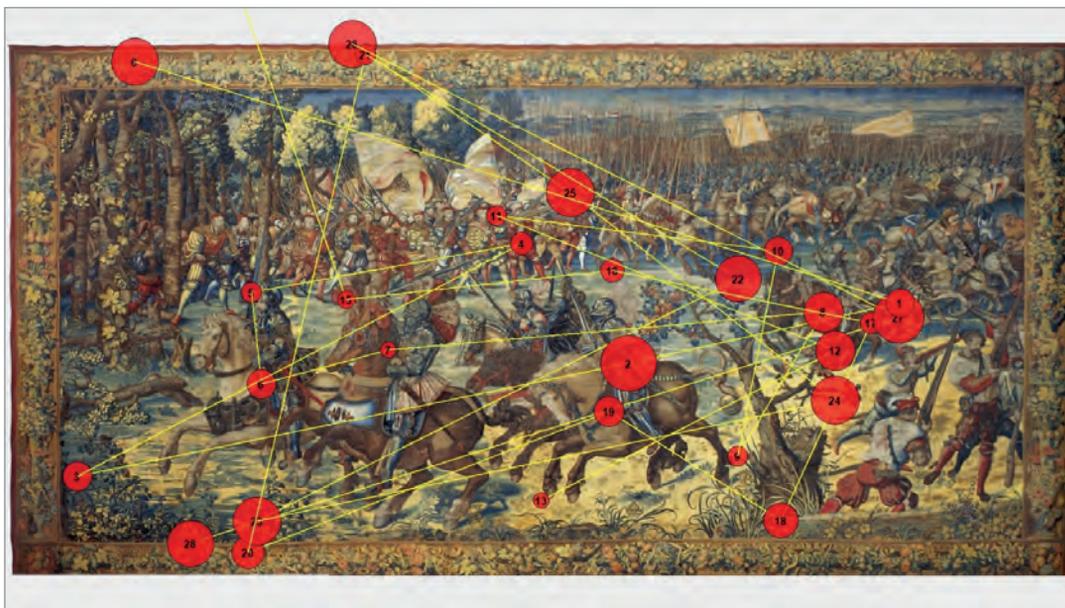


Figura 9. Un esempio di *gazeplot*; il percorso di scansione è indicato da linee gialle, mentre le fissazioni sono rappresentate da cerchi rossi (con aree proporzionali alle loro durate).

Figure 9. An example of *gazeplot*; the scanpath is indicated by yellow lines, while fixations are represented by red circles (whose areas are proportional to their duration).

tica del *gaze replay* in cui cerchi rossi hanno aree proporzionali alle durate delle relative fissazioni e linee gialle indicano le saccadi (Fig. 9). I cerchi sono numerati secondo la loro posizione nella sequenza di fissazioni.

Dai dati forniti dall'eye tracker si possono potenzialmente ottenere importanti informazioni sulla capacità di attrazione di una mostra e sull'interazione con i suoi contenuti multimediali, migliorando la comprensione di tutti i processi coinvolti¹².

A titolo d'esempio, la figura 10 mostra una rappresentazione a "mappa di calore" (*heatmap*), in cui le aree complessivamente più fissate di uno degli arazzi sono evidenziate per mezzo di un codice cromatico (che va dal rosso, corrispondente alla massima osservazione, fino al verde, passando per il giallo).

used to download his or her gazeplots from the website <<http://vision.unipv.it/arazzi>> (Fig. 7). A gazeplot is a static representation of the gaze replay: red circles have areas proportional to the durations of the corresponding fixations while yellow lines indicate saccades (Fig. 9). Circles are numbered according to their position in the fixation sequence.

Potentially rich information be drawn from eye tracking data regarding the attractiveness of an exhibition and visitors' interaction with its multimedia content, a significant step in improving understanding of all the processes involved¹².

As an example, Figure 10 shows a *heatmap* representation, where the overall most fixated areas of one of the tapestries are highlighted by means of a chromatic code (which ranges from red, corresponding to the highest observation, to green, through yellow).

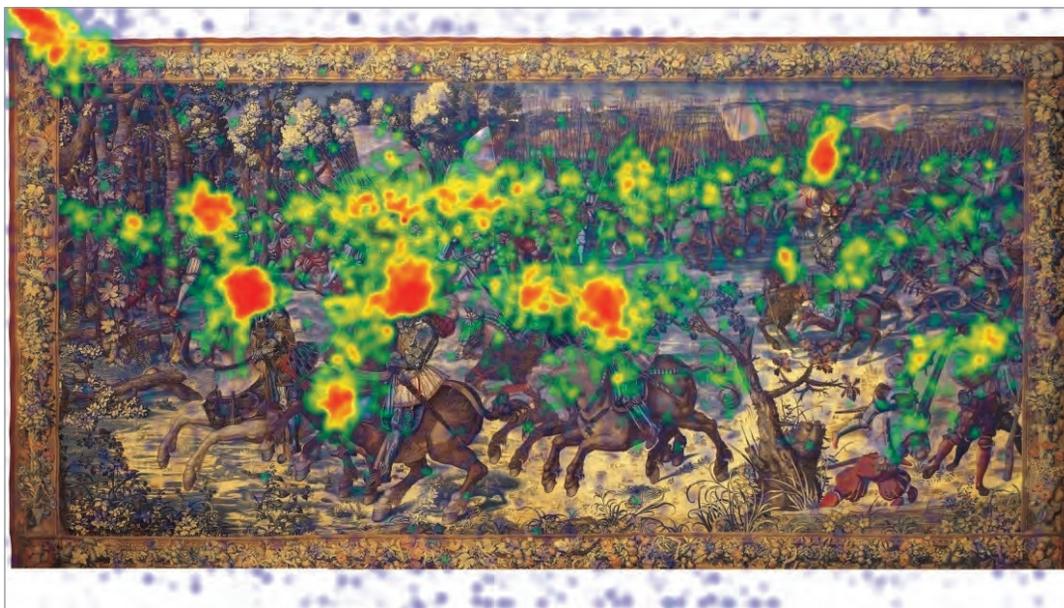


Figura 10. Un esempio di *heatmap*; tempo di osservazione accumulato da tutti i visitatori nelle varie aree di un arazzo, evidenziato sulla base di una scala cromatica che va dal rosso al verde, passando per il giallo.

Figure 10. An example of *heatmap*; cumulative time spent by all visitors while watching the different areas of a tapestry, highlighted based on a chromatic scale that ranges from red to green, through yellow.

1. Yarbus A.L.: *Eye Movements and Vision*. New York: Plenum Press (1967).
2. Just M.A., Carpenter, P.A.: Eye Fixations and Cognitive Processes. *Cognitive Psychology*, Vol. 88, pp. 441-480 (1976).
3. Just M.A., Carpenter, P.A.: A theory of Reading. From Eye Fixation to Comprehension. *Psychology Review*, Vol. 87, pp. 329- 354 (1980).
4. Poole A., Ball L.J.: Eye Tracking in Human-Computer Interaction and Usability Research: Current Status and Future. In *Encyclopedia of Human-Computer Interaction*, Ghaoui C. (ed.), PA: Idea Group, pp. 211-219 (2005).
5. Hoffman J.E.: Visual attention and eye movements. In *Attention*, Pashler H. (ed.), Hove, UK: Psychology Press, pp. 119-154 (1998).
6. Porta M., Ravarelli A., Spaghi F.: Online Newspapers and Ad Banners: an Eye Tracking Study on the Effects of Congruity. *Online Information Review*, Vol. 37, No. 3, pp. 405-423 (2013).
7. Duchowski, A.T.: *Eye Tracking Methodology – Theory and Practice* (2nd Ed.). London: Springer-Verlag (2007).
8. Milekic S.: Designing Digital Environments for Art Education / Exploration. *Journal of the American Society for Information Science*, Vol. 51, No. 1, pp. 49-56 (2000).
9. Milekic S.: Gaze-Tracking and Museums: Current Research and Implications. In *Museums and the Web 2010: Proceedings*. J. Trant and D. Bearman (eds), Toronto: Archives & Museum Informatics, March 31 (2010).
10. Cantoni V., Porta M.: Eye Tracking as a Computer Input and Interaction Method. *Proceedings of the 15th International Conference on Computer Systems and Technologies (CompSysTech 2014)*, Ruse, Bulgaria, June 27, 2014, ACM Press, pp. 1-12 (2014).
11. *ET100 - The Eye Tribe Tracker*, URL: <<https://theyetribe.com>>, consulted November 2, 2015.
12. Bachtta E., Stein R.J., Filippini-Fantoni S., Leason T.: Evaluating the Practical Applications of Eye Tracking in Museums. *Museums and the Web 2012, The annual conference of Museums and the Web*, San Diego (2012). URL: <http://www.museumsandtheweb.com/mw2012/papers/evaluating_the_practical_applications_of_eye_t.html>, consulted November 2, 2015.

Interazione gestuale

Gesture-based interaction

LUCA LOMBARDI, PIERCARLO DONDI

Dip. Ingegneria Industriale e dell'Informazione – Università di Pavia

Dept. of Electrical, Computer and Biomedical Engineering – University of Pavia

La diffusione di una nuova classe di dispositivi ha reso pratica comune l'interazione con calcolatori e più in generale con sistemi automatici tramite l'uso di movimenti naturali e gesti¹. La tecnologia di rilevamento del movimento e dei gesti imita da vicino l'esperienza quotidiana nel mondo reale. Musei, gallerie e mostre stanno sfruttando la tecnologia basata su interazione gestuale per creare esperienze immersive che catturino e appassionino i visitatori. I dispositivi di rilevamento di movimento sono sempre più comuni e stanno trasformando radicalmente le modalità di coinvolgimento del visitatore con le collezioni d'arte. Installazioni immersive e interattive combinano nuovi strumenti e software che reagiscono in maniera naturale al comportamento dei visitatori.

Considerando in particolare l'interazione gestuale, una distinzione importante è quella tra i gesti espliciti e quelli impliciti². Lo scopo dei gesti espliciti (o di controllo) è quello di fornire informazioni al computer (o in generale a qualunque macchina), ad esempio dei comandi. Al contrario, i gesti impliciti sono utilizzati per ottenere informazioni indirette sugli utenti e sul contesto in cui essi si muovono, allo scopo, ad

The availability of new devices has meant that interaction with computers and automated systems using natural movements and gestures has become a common practice¹. Motion and gesture detection technology can now create an experience that closely mimics common real-world experiences. Museums, galleries and exhibitions are exploiting gesture-based technology to create immersive experiences that visitors find intriguing and engaging. Motion-sensing input devices are becoming increasingly common and are radically transforming visitors' engagements with collections. Immersive and interactive installations combine tools and software that react naturally to human behavior and activity.

An important distinction in the context of gesture-based interaction is between explicit and implicit gestures². The purpose of explicit (or control) gestures is to provide forms of input, such as commands, for the computer. Conversely, implicit gestures are used to obtain indirect information about users and their environments, for instance recognizing the activity that is being carried out. A further distinction is between dynamic gestures, which imply body movements, and static

esempio, di riconoscere l'attività che stanno svolgendo. Un'ulteriore distinzione è quella tra gesti dinamici, che implicano movimenti del corpo, e gesti statici, che sono caratterizzati da posizioni e/o posture stabili del corpo.

L'interazione con le mani dipende da due distinte attività indipendenti: nella prima la mano dell'utente viene riconosciuta e seguita nel tempo; nella seconda viene definito un dizionario di gesti che codificano le azioni evocate. L'insieme dei gesti interattivi deve essere intuitivo, facile da realizzare e da ricordare per l'utente.

La prima possibilità considerata, in una gamma crescente di dispositivi alternativi che riconoscono e interpretano gesti fisici naturali, è il sensore *Microsoft Kinect* (Fig. 1). Si tratta di un dispositivo a basso costo, non intrusivo, originariamente concepito per il gioco; mette a disposizione una telecamera RGB, un sensore di profondità a raggi infrarossi che misura la distanza tra un oggetto e il sensore stesso, un microfono direzionale e flussi video dello scheletro delle persone inquadrate. Vari motivi giustificano il suo uso: i) è diffuso e già utilizzato in numerosi campi applicativi; ii) non richiede la calibrazione della fotocamera o una particolare preparazione dell'ambiente; iii) permette il tracciamento dei gesti anche in assenza di marcatori; iv) è abbastanza economico; v) è corredato di ricche librerie per la creazione di applicazioni personalizzate³. Per tutte queste ragioni, la sua utilizzazione si è estesa ben oltre il settore dei giochi.

Nel 2013 Microsoft ha presentato una nuova versione del Kinect; rispetto alle precedenti, presenta una precisione di profondità fino a tre volte maggiore per visualizzare in 3D più chiaramente anche gli oggetti più piccoli, dispone di una videocamera a colori a risoluzione 1920x1080, un riconoscimento dei corpi migliorato, un nuovo rilevamento attivo ad infrarossi. Inoltre permette di riconoscere, nello spazio fra 0,5 e 4,5 metri,



gestures, characterized by body positions and/or postures.

Gesture-based interaction implies two steps: i) the user's hand must be recognized and tracked over time; ii) a dictionary of gestures must be defined which codes the actions evoked. The set of interactive gestures must be intuitive, comfortable and easy to remember for the user.

Among the growing set of devices that recognize and interpret body gestures, *Microsoft's Kinect* is a serious contender (Fig. 1). It is a low-cost, non-intrusive sensor originally conceived for gaming uses an RGB camera, an infrared depth image sensor measuring the distance between an object and the sensor, a data-sensitive microphone and skeleton video streams. Choosing it is justifiable on several grounds: its widespread use in many applications; its no camera calibration or environment setup features; its support of marker-less tracking; its cost and provision of powerful libraries for custom applications³. For all these reasons, its impact has extended far beyond the gaming industry.

In 2013, Microsoft developed a new version with a depth accuracy that is a three-fold improvement in 3D viewing even with the tiniest objects. It has a high-resolution (1920x1080) color video camera, improved body recognition,

Figura 1. Il sensore *Microsoft Kinect for Windows*, utilizzato alla Mostra sulla Battaglia di Pavia.

Figure 1. The *Microsoft Kinect sensor for Windows*, used for the Battle of Pavia Exhibition..

fino a sei corpi, distinguendo in ognuno 25 articolazioni diverse a ciascuna delle quali sono associati un punto nello spazio 3D e un'orientazione; in particolare, di due di questi corpi è possibile conoscere la postura delle mani. Le posizioni individuate sono più stabili, più corrette dal punto di vista anatomico, e l'intervallo di riconoscimento è più robusto rispetto alla prima versione del dispositivo. Insieme al sensore è stato distribuito il nuovo SDK 2.0 al cui interno sono inclusi due nuovi prodotti: *Kinect Studio* e *Visual Gesture Builder*.

Kinect Studio⁴ permette ai programmatori di registrare video che possono poi essere analizzati nei singoli frame. Alcune delle sue più importanti caratteristiche sono le capacità di: i) registrare sequenze comprensive di colori, profondità, canale infrarosso, scheletro dei corpi, audio; ii) riprodurre sequenze precedentemente registrate; iii) visualizzare coordinate e dati 2D e 3D dalle sequenze acquisite; iv) avere diversi punti di vista; v) analizzare i dati di profondità e infrarossi.

I programmatori possono creare nuove modalità di interazione, inclusi nuovi gesti, ognuno di essi associato a una sequenza ottenuta tramite Kinect Studio. Particolarmente utile è la possibilità di testare l'applicazione anche senza disporre del sensore Kinect una volta registrate una o più sequenze.

Il Visual Gesture Builder⁵ permette di generare un database di gesti che potranno essere importati dalle applicazioni che a tali movimenti faranno corrispondere un'azione specifica. Il programmatore può quindi creare nuove interazioni, comprensive di più gesti, a ciascuno dei quali viene associata una sequenza registrata con Kinect Studio. Il programma è ampiamente configurabile, in particolare si può decidere la tecnologia di riconoscimento del gesto da utilizzare: i) *Adaptive Boosting (AdaBoost) Trigger*, in grado di determinare se si sta compiendo quel

a new active infrared device. It also allows recognition of up to six different skeletons in a space ranging from 0.5 to 4.5 meters, consisting of 25 joints each associated with a specific point in 3D space and a specific orientation; it can detect the status of two people's hands. The positions detected are more stable, anatomically more accurate, and the recognition range is more robust. The new SDK 2.0, distributed with the sensor, includes two software tools: *Kinect Studio* and *Visual Gesture Builder*.

Kinect Studio⁴ allows programmers to record videos that can be analyzed frame by frame. Some of the most important features are: recording clips inclusive of color, depth, infrared, skeletons, audio; playing back recorded clips; displaying coordinates and 2D and 3D data obtained from clips; availability of different points of view; depth and infrared data analysis.

Programmers can create new interactions, including new gestures, each associated with a sequence recorded Kinect Studio. A most appreciated feature is the fact that when one or more clips have been acquired, an application can be tested even without the Kinect sensor.

Visual Gesture Builder⁵ allows the creation of a database of gestures that can be imported from applications that link movements to specific actions. The programmer can then create new interactions, including more gestures, each associated to a sequence recorded with Kinect Studio. The program is highly configurable. In particular, application developers can decide the gesture recognition technology to use: *Adaptive Boosting (AdaBoost) Trigger*, which determines whether a gesture has been made and *Random Forest Regression Progress*, which tracks the progress of the gesture made by the user.

The following are some of the results using Visual Gesture Builder. Programmers can use the same gesture definitions in different versions of

particolare gesto; ii) *Random Forest Regression (RFR) Progress*, che fornisce un risultato continuo che valuta il progresso del gesto compiuto dall'utente.

Alcuni dei risultati ottenibili mediante Visual Gesture Builder sono: i) riutilizzo della definizione di gesti in versioni differenti della stessa applicazione; ii) condivisione dei gesti tra diverse applicazioni; iii) creazione di librerie per la definizione di gesti; iv) test di riconoscimento del gesto; v) analisi e visualizzazione dei risultati di riconoscimento del gesto.

Il limite principale dell'analisi del movimento è la complessità nella definizione del modello del corpo umano. Il contributo innovativo del sensore Kinect è stato il superamento di questo problema, infatti esso è in grado di estrarre il modello umano 3D in pochi secondi, seguendone i movimenti in tempo reale. Un'altra importante caratteristica di questo dispositivo è il "tracciamento scheletrico", che permette il riconoscimento della posizione delle persone (l'utente deve semplicemente posizionarsi di fronte alla Kinect, in modo che il sensore possa rilevare la testa e la parte superiore del corpo)³.

Le nuove tecnologie estendono queste funzionalità fino a comprendere lo stato emotivo dell'utente, percepito tramite la voce e le micro-espressioni del volto. La Kinect è sperimentata da ricercatori di tutto il mondo, con condivisione di codice e strategie; per questo motivo sta diventando una soluzione molto conveniente per integrare, con il rilevamento 3D, progetti e dispositivi.

Il miglioramento nella percezione dell'orientamento del corpo, delle mani e di tutte le altre articolazioni ha portato all'utilizzo della Kinect in importanti scenari come computer science, robotica, ingegneria elettronica, medicina, ecc⁶. Nella postazione interattiva della mostra sulla battaglia di Pavia, si è sfruttato il sensore Micro-

the application, share the definition in different applications, create gesture definitions libraries, test gesture recognition and visualize gesture recognition results.

The main limitation in motion analysis is the complexity involved in defining the body model. Kinect has overcome this issue and can extract the 3D human model in a few seconds, tracking its movements in real time. Another remarkable feature of this device is "Skeletal Tracking" which allows people's location to be recognized (the user simply needs to be in front of the device, so that the sensor can detect the head and upper body)³.

New technologies have extended these capabilities to include perception of the user's emotional state by capturing voice and facial micro-expressions. Researchers everywhere are still experimenting with Kinect and sharing code and strategies. It is becoming a very common cost-effective tool adding 3D sensing to many projects and devices.

Improvements to the perception of the orientation of the body, hands and other joints has led to the use of Kinect in many new scenarios in computer science, robotics, electronic engineering, medicine and so on⁶.

For the *Battle of Pavia Exhibition*, we selected Microsoft's Kinect sensor as a widespread and cheap technology that could monitor body motion and gestures and which would allow users to control the computer with hand and finger gestures (Fig. 2). A similar approach was adopted in the *Spotlight on the Antinoe Veil Exhibition* at the Louvre, which used Kinect technology to enable visitors to interact with an ancient artifact. Visitors manipulated a veil dating back to the 4th century AD, and could explore different narratives painted on the fabric, without physically touching it⁷.

The system realized for the *Battle of Pavia Exhibition* consisted of a standard PC, a 24" full



Figura 2. Utente che interagisce con la mano per analizzare uno degli arazzi (fase sperimentale e di test in laboratorio).

Figure 2. User interacting with his hand to browse a tapestry (laboratory debugging phase).

soft Kinect consentendo ai visitatori di impartire ordini al computer tramite gesti delle mani e delle dita (Fig. 2). Un esempio analogo è stato realizzato per la mostra “Spotlight on The Antinoe Veil”, al Louvre di Parigi, dove la tecnologia Kinect è stata utilizzata per consentire di interagire con un antico manufatto. I visitatori hanno potuto manipolare un velo datato al IV secolo a.C., potendo “esplorare” le diverse scene raccontate sul tessuto, senza toccarlo fisicamente⁷.

Per la mostra di Pavia è stata realizzata una postazione composta da un normale PC, da un monitor Full HD 24 pollici e da un sensore Kinect. In stato di non utilizzo, il programma era in modalità “presentazione”, esibendo ciclicamente la sequenza degli arazzi a pieno schermo. Per interagire con la Kinect era sufficiente posizionarsi davanti alla postazione e tenere ferma una mano con il palmo rivolto verso il dispositivo fino a quando non compariva la silhouette dell’utente; a questo punto, tramite un gesto di

HD monitor and a Kinect sensor. In its slide-show stand-by mode, the program presented a sequence of full-screen tapestry images which was repeated until a new visitor was detected. To interact with Kinect, a visitor simply stopped in front of the workstation and held out a hand, with the palm facing toward the device, until a human body silhouette appeared on the screen, when users could begin their interaction with the computer by again holding their hand out and pressing a virtual button.

The silhouette, which appeared in the center of the top part of the screen, when the user’s body was recognized, was a representation of the body obtained from the depth flow sensor data.

At this stage, the system presented visitors with a screen (Fig. 3) which allowed one of the seven tapestries or the map of the location of the battle to be selected. Visitors touch-free hand gestures produced classic mouse click effects that allowed them to analyze the image selected. Due



Figura 3. Videata proposta per la selezione di uno degli arazzi o della mappa del sito della battaglia.
Figure 3. Screenshot for the tapestry or battle map selection.

pressione virtuale di un pulsante, l'utente iniziava ad interagire con il computer.

Nel momento in cui veniva riconosciuto il corpo dell'utente, al centro della parte alta dello schermo compariva il *KinectUserViewer*, una sua silhouette ricavata dal flusso di dati di profondità del sensore. A questo punto all'utente veniva presentata una videata (Fig. 3) che permetteva la selezione di uno dei sette arazzi o della mappa del luogo della battaglia. Attraverso un gesto della mano si otteneva l'effetto classico del click con il mouse ed era possibile passare all'analisi dell'immagine selezionata. L'alta risoluzione dell'immagine consentiva di vedere solo un dettaglio dell'arazzo e in questo contesto il riconoscimento del gesto del pugno chiuso si traduceva nel classico *drag and drop* del mouse. L'utente poteva quindi decidere su quali dettagli soffermarsi, o, presentando la mano a palmo aperto e premendo in maniera virtuale sulla freccia di ritorno in alto a sinistra (Fig. 4), tornare alla videata di selezione

to the high resolution, they could only see a small part of the tapestry, so recognition of the clenched fist gesture was translated into the classic drag and drop mouse interaction meaning that visitors could move around in the image and select the details they wanted to observe. By making a virtual click on an array icon in the top left part of the screen (Fig. 4), they could go back to the previous screen and choose a different tapestry. When a visitor went away, the program immediately returned to its slideshow mode waiting for the next visitor to come along.

Detection and tracking of people was robust: the system's performance was unaffected by lighting or environmental variations; correct tracking of the user's move was maintained even when other visitors walked by which meant the system could be used also in crowded places.

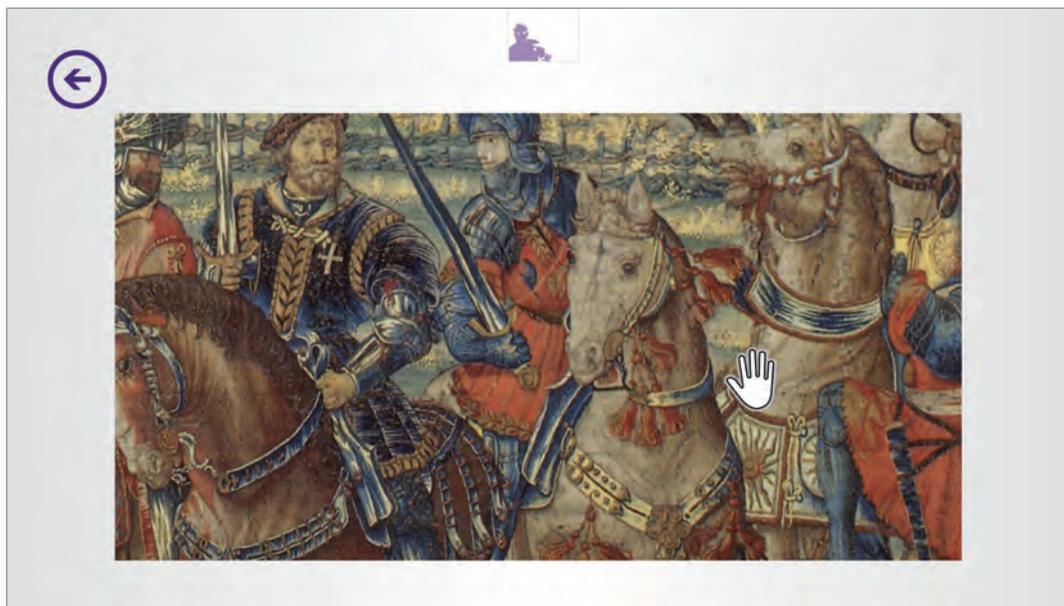


Figura 4. Selezione della regione di interesse tramite il gesto *drag and drop*.

Figure 4. Example of drag-and-drop gesture selection of a region of interest.

per cambiare arazzo. Quando il visitatore si allontanava il programma tornava in modalità presentazione, in attesa di un nuovo utente.

Il rilevamento e il tracciamento di persone è risultato molto affidabile: le prestazioni del sistema non dipendevano da variazioni di luce o nell'ambiente; anche la presenza di altri visitatori che si muovevano sullo sfondo non alterava il corretto riconoscimento del movimento dell'utente (l'applicazione potrebbe perciò essere utilizzata anche in luoghi affollati).

1. Dondi P., Lombardi L., Porta M.: Development of Gesture-Based HCI Applications by Fusion of Depth and Colour Video Streams. *IET Computer Vision*, Vol. 8, No. 6, pp. 568-578 (2014).
2. Porta M.: Vision-based User Interfaces: Methods and Applications. *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 57, pp. 27-73 (2002).
3. Gianaria E.: *Methodologies for automatic detection and analysis of human body*. PhD Thesis, University of Turin (2015).
4. Goins D.: *Exploring the Kinect Studio v2*. URL: <<https://dgoins.wordpress.com/2014/03/30/exploring-the-kinect-studio-v2/>>, consulted February 22, 2016.
5. Microsoft. *Visual Gesture Builder*. URL: <<https://msdn.microsoft.com/en-us/library/dn785304.aspx>>, consulted February 22, 2016.
6. Zhengyou Z.: Microsoft Kinect sensor and its effect. *IEEE MultiMedia*, Vol. 19, No. 2, pp. 4-10 (2012).
7. URL: <<http://www.polygon.com/2013/1/18/3890894/louvre-exhibit-becomes-better-with-kinect-allows-gesture-scanning-of>>, consulted February 22, 2016.

Modellazione, rendering e stampa 3D

3D modeling, rendering and printing

VIRGINIO CANTONI*, STANISLAV GYOSHEV**, DIMITAR KARASTOYANOV**,
STEFANIA MARCONI***, DARIO MARINO****, MASSIMILIANO PINI*, NIKOLAY STOIMENOV**

*Dip. Ingegneria Industriale e dell'Informazione – Università di Pavia,

**Istituto di Tecnologie dell'Informazione e Comunicazione – Accademia delle Scienze di Bulgaria,

Dip. Scienze Clinico-Chirurgiche – Università di Pavia, *Dip. Ingegneria Civile e Architettura – Università di Pavia

*Dept. of Electrical, Computer and Biomedical Engineering – University of Pavia,

**Institute of Information and Communication Technologies – Bulgarian Academy of Sciences,

Dept. of Clinical and Surgical Sciences – University of Pavia, *Dept. of Civil Engineering and Architecture – University of Pavia

Collezioni 3D

Persone ipovedenti o non vedenti non possono purtroppo beneficiare di tutti i tesori del patrimonio storico-artistico. Tuttavia, sono ora disponibili nuove tecnologie che rendono l'arte accessibile a tutti. Ad esempio, la stampa 3D è una soluzione conveniente, pratica ed efficace per creare riproduzioni di opere d'arte che di solito non sono facilmente disponibili o accessibili¹.

In particolare, i modelli 3D possono essere proficuamente sfruttati con diversi obiettivi: i) *per ricostruire*: da frammenti di immagini, documenti o altre fonti, possono essere ricostruiti modelli 3D di manufatti distrutti; ii) *per replicare*: per la conservazione degli originali, che sono troppo fragili per essere spostati, o semplicemente per rendere disponibili commercialmente delle

3D Collections

Partially sighted or blind people cannot enjoy all the treasures that cultural heritage offers. However, new technologies are now available which can make art accessible to everybody. 3D printing is an affordable, practical and effective solution when creating reproductions of works of art that are not usually, or at least not always, easily available, manageable or accessible¹.

In particular, 3D models can be profitably used with a variety of goals: i) *to reconstruct*: 3D models of artifacts that have been destroyed can be built from fragments and pictures of documents or other sources; ii) *to replicate*: originals that are too fragile to move can be duplicated and replicas for commercial purposes can be made; iii) *to interpret*: reconstructing and then



Figura 1. Videata della fase di modellazione tramite *Cinema 4D*³ del personaggio "dama in rosso" (di Fangda Guo e Teresa Kozer).

Figure 2. Screenshot of the *Cinema 4D*³ modelling phase of the character 'lady in red' (by Fangda Guo and Teresa Kozer).

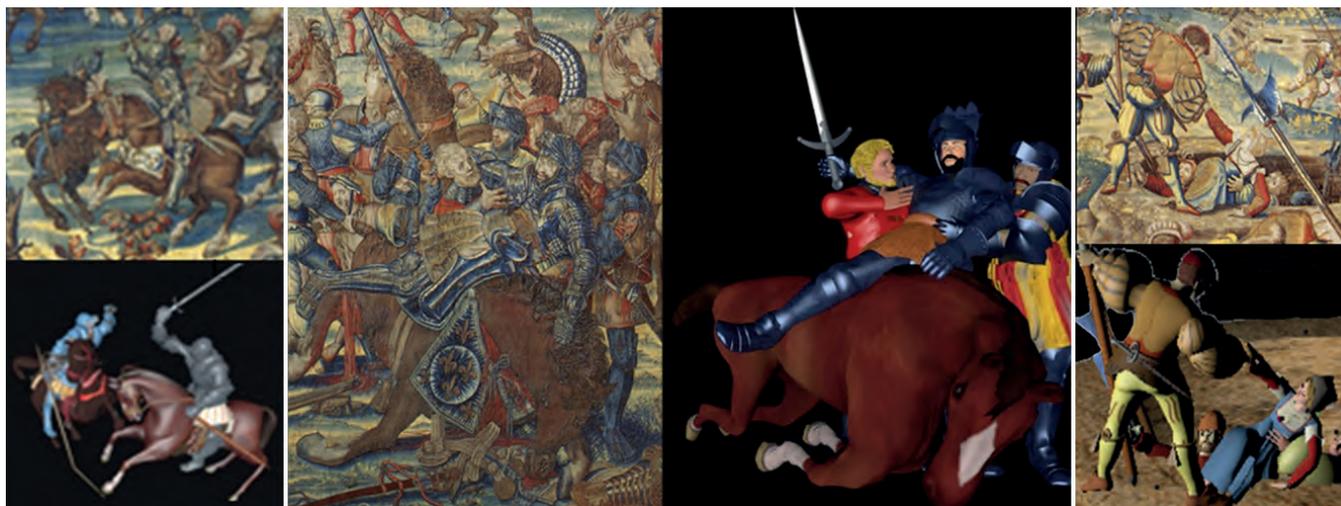


Figura 2. Rendering di scene realizzate con *Fuse Character Creator*⁴ e *Cinema 4D*, da sinistra: Ferrante Castriotta and Francesco I (di Nicolò Martini); cattura del re francese (di Ram Abed Abud, Edoardo Gullo, Simone Rigoni); civili che escono dai rifugi (di Giacomo Bellazzi e Paulin Tchoni).

Figure 2. Rendering of 3D scenes produced by *Fuse Character Creator*⁴ and *Cinema 4D*, from the left: Ferrante Castriotta and Francesco I (by Nicolò Martini); capture of the French king (by Ram Abed Abud, Edoardo Gullo, Simone Rigoni); people coming out of shelters (by Giacomo Bellazzi and Paulin Tchoni).



repliche; iii) *per interpretare*: per comprendere il passato di un oggetto, un'architettura o una mappa, attraverso l'analisi delle loro ricostruzioni; iv) *per indagare*: con la costruzione di varie versioni per confrontare le opere provenienti da fonti diverse; v) *per condividere*: raggruppando risorse 3D con l'integrazione estesa di parti e modelli geograficamente distribuiti².

Le figure 1-13 mostrano la collezione 3D della battaglia di Pavia, realizzata dagli studenti del corso di "Computer Vision" della laurea magistrale in Computer Engineering dell'Università degli Studi di Pavia. In dettaglio si sono sviluppati: modelli 3D di scene tratte dagli arazzi; versione 3D e relativa stampa tridimensionale di un

Figura 3. Rendering di scene realizzate con *Fuse Character Creator* e *Cinema 4D*, da sinistra: Charles de Lannoy (di Eric Villa); Carlo III di Borbone (di Alberto Brandi); Duca d'Alençon sul ponte di barche (di Alessandro Luppi e Monica Rotulo); Guillaume Gouffier de Bonnavet (di Valerio Albini); 'gran Signore' (di Alessio Fiammenghi e Tomas Pippia).

Figure 3. Rendering of 3D scenes produced by *Fuse Character Creator* and *Cinema 4D*, from the left: Charles de Lannoy (by Eric Villa); Charles III of Bourbon (by Alberto Brandi); Duke of Alençon on the bridge made of boats (by Alessandro Luppi and Monica Rotulo); Guillaume Gouffier de Bonnavet (by Valerio Albini); 'great Lord' (by Alessio Fiammenghi and Tomas Pippia).

analyzing objects, pieces of architecture and maps of places helps us understand the past; iv) *to investigate*: various items can be built so as to compare artifacts from different sources; v) *to share*: 3D grouping of geographically distributed parts of objects².



cannone francese e della città di Pavia, raffigurata sullo sfondo di uno degli arazzi; modelli e relative stampe 3D di alcuni personaggi.

Figures 1-13 show the Battle of Pavia 3D collection made by the students of the “Computer Vision” course of the University of Pavia’s, Master Degree in Computer Engineering. They supply considerable detail about the following: tapestry scenes and models; tapestry characters and models; a French cannon and the Pavia landscape from tapestry to model to 3D print; character models and 3D prints.

Figura 4. La città di Pavia, dall’alto: immagine dall’arazzo; modello 3D (di Alessandro Gatti e Simone Guasconi); stampa 3D ottenuta con *Sharebot NG PLA*.

Figure 4. The city of Pavia, from the top: image from the tapestry; 3D model (by A. Gatti and S. Guasconi); 3D city printed by *Sharebot NG PLA*.



Figura 5. Stampe 3D ottenute con *ProJet 460Plus* e relativi modelli 3D, da sinistra: 'la dama in rosso' al seguito dell'esercito francese (di Francesca Fois); Francesco Fernando d'Avalos (di Alberto Brandi e Virginia Martinez Gaviro); Georg von Frundsberg (di Carlo Bobba e Alessandro Danani); Jean De Diesbach (di Carlo Bobba e Alessandro Danani); stalliere della 'dama in rosso' (di Moses Koledoye e Davide Sacchi).

Figure 5. Character models and 3D prints made by the *ProJet 460Plus* printer, from the left: 'the lady in red' following the French army (by Francesca Fois); Francesco Fernando d'Avalos (by Alberto Brandi and Virginia Martinez Gaviro); Georg von Frundsberg (by Carlo Bobba and Alessandro Danani); Jean De Diesbach (by Carlo Bobba and Alessandro Danani); stableman of 'the lady in red' (by Moses Koledoye and Davide Sacchi).

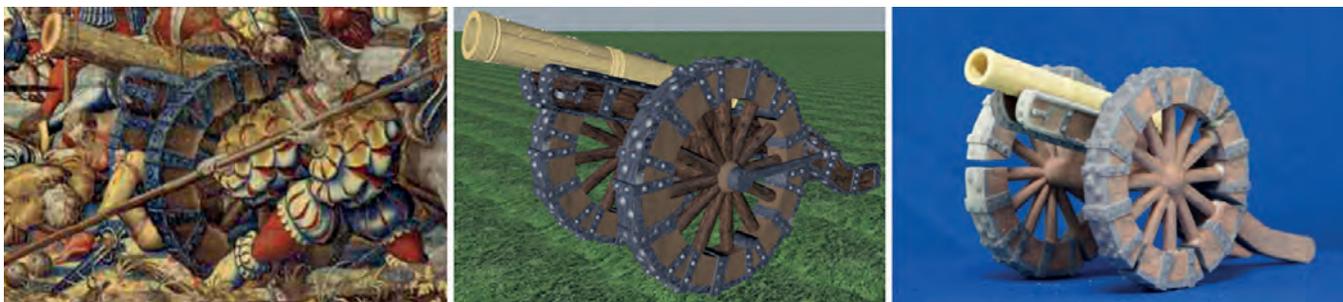


Figura 6. Cannone francese, da sinistra: raffigurazione tratta dall'arazzo; modello 3D (di Federico Bianchi e Leonardo Migliorini); oggetto stampato con stampante 3D *ProJet 460Plus*.
Figure 6. French cannon, from left: image from the tapestry; 3D model (by Federico Bianchi and Leonardo Migliorini); 3D object printed by *ProJet 460Plus*.



Figura 7. Stampa 3D a colori (da stampante 3D *ProJet 460Plus*) di un cannone francese, di Federico Bianchi e Leonardo Migliorini.
Figure 7. 3D color printed object (by *ProJet 460Plus*) of a French cannon, by Federico Bianchi and Leonardo Migliorini.



Figura 8. Stampa 3D a colori (da stampante 3D *ProJet 460Plus*) di uno stalliere, di Moses Koledoye e Davide Sacchi.

Figure 8. 3D color printed object (by *ProJet 460Plus*) of a stableman, by Moses Koledoye and Davide Sacchi.



Figura 9. Stampa 3D a colori (da stampante 3D *ProJet 460Plus*) del "gran Signore", di Chiara Castagni e Nicolò Marchesi.

Figure 9. 3D color printed object (by *ProJet 460Plus*) of the 'great Lord', by Chiara Castagni and Nicolò Marchesi.

Figura 11. Stampa 3D a colori (da stampante 3D *ProJet 460Plus*) di Georg von Frundsberg, di Carlo Bobba e Alessandro Danani.

Figure 11. 3D color printed object (by *ProJet 460Plus*) of Georg von Frundsberg, by Carlo Bobba and Alessandro Danani.



Figura 10. Stampa 3D a colori (da stampante 3D *ProJet 460Plus*) della "dama in rosso" al seguito dell'esercito francese, di Francesca Foïs.

Figure 10. 3D color printed object (by *ProJet 460Plus*) of the 'lady in red' following the French army, by Francesca Foïs.



Figura 12. Stampa 3D a colori (da stampante 3D *ProJet 460Plus*) di Francesco Fernando d'Avalos, di Alberto Brandi e Virginia Martinez Gaviro.

Figure 12. 3D color printed object (by *ProJet 460Plus*) of Francesco Fernando d'Avalos, by Alberto Brandi and Virginia Martinez Gaviro.



Avatar

Un avatar è una rappresentazione dell'utente, un suo alter ego o l'utente in terza persona. Nel contesto di mostre storiche, un avatar è spesso utilizzato in esperienze virtuali generate al computer nelle quali i visitatori agiscono in tempo reale con un approccio di tipo *story-driven*. L'avatar del visitatore è completamente immerso nel mondo virtuale della mostra e può controllare direttamente le azioni effettuate sulla scena. La simulazione virtuale del corpo umano è spesso



Figura 13. Stampa 3D a colori (da stampante 3D *ProJet 460Plus*) di Jean De Diesbach, di Carlo Bobba e Alessandro Danani.

Figure 13. 3D color printed object (by *ProJet 460Plus*) of Jean De Diesbach, by Carlo Bobba and Alessandro Danani.

Avatar

An avatar is the representation of the user, the user's alter ego or the user in the third person. Avatars in historical exhibitions are often used in computer generated virtual experiences in which visitors play an online role in a story-driven approach. The visitor's avatar is full immersed in the virtual world of the exhibition and can directly control the actions performed on stage. The virtual simulation of the human body is often based on high quality characters presented in the exhibition (in gaming, avatars are often models bought off-the-shelf). There is a growing secondary industry devoted to the creation of products that can be used to build and manage avatars,

realizzata sulla base di personaggi ad alta qualità relativi al tema della mostra (nei giochi, gli avatar sono spesso modelli acquistati da cataloghi). Esiste un crescente settore secondario dedicato alla creazione di prodotti che possono essere utilizzati per costruire e gestire gli avatar, e che forniscono strumenti per modificarne le forme, i capelli, la pelle, il genere, ecc.

Un progetto dedicato agli avatar per musei e mostre è TOURBOT⁵, un progetto RTD finanziato dal programma UE-IST. L'obiettivo di questo progetto è lo sviluppo di un TOUR-guide RoBOT interattivo che operi come avatar del visitatore per fornire un accesso individuale via Internet che consenta di visitare mostre specifiche. La ricostruzione virtuale del museo o mostra è resa disponibile su Internet per un visitatore remoto, in modo che possa godere di un'esperienza personalizzata in tele-presenza, potendo scegliere le condizioni di visualizzazione preferite (punto di vista, distanza, risoluzione, ecc.). In dettaglio, gli obiettivi del progetto sono i seguenti: i) sviluppare un avatar robotico con funzioni di navigazione avanzate in grado di muoversi in semi-autonomia nel museo; ii) sviluppare adeguate interfacce web per l'avatar robotico che implementino telepresenza, cioè facilitare l'osservazione della scena attraverso gli occhi dell'avatar; iii) facilitare l'osservazione personalizzata e realistica delle opere del museo; iv) consentire tour guidati interattivi in loco.

Nella mostra della battaglia di Pavia alcuni personaggi imitano in tempo reale i movimenti facciali e della testa del visitatore (Fig. 14). L'applicazione è stata sviluppata utilizzando il servizio web e la tecnologia di *Face Plus*⁶ per la cattura e l'animazione facciale.

which provide tools to change body shape, hair, skin, gender, etc.

A characteristic avatar project for museums and exhibitions is TOURBOT⁵, an RTD Project funded by the EU-IST Programme. The goal of this project is the development of an interactive TOUR-guide RoBOT that operates as the visitor's avatar thus providing individual access over the Internet when visiting specific cultural heritage exhibits. The virtual reconstruction of the museum or exhibit is delivered over the Internet to remote visitors, so that they can enjoy a personalized tele-presence experience and choose preferred viewing conditions (point of view, distance, resolution, etc). More specifically, the objectives of the project are to: i) develop a robotic avatar with advanced navigation capabilities that can move semi-autonomously in the museum; ii) develop appropriate web interfaces for the robotic avatar that implement telepresence i.e. facilitate scene observation through the avatar's eyes; iii) facilitate personalized and realistic observation of the museum exhibit; iv) enable on-site, interactive museum tour guides.

In the *Battle of Pavia Exhibition*, some characters mimic the visitor's facial and head movements in real-time (Fig. 14). The application has been developed using the web services, facial capture and animation technology of *Face Plus*⁶.



Figura 14. Avatar: fase di test in laboratorio curata da Emanuele Torti.

Figure 14. Avatar: laboratory testing organized by Emanuele Torti.

Stampa 3D

Stampa 3D del modello della città di Pavia

Le applicazioni della stampa 3D in architettura sono ad oggi in continua sperimentazione. Uno dei contributi più interessanti e di immediata percezione in questo campo è la possibilità di realizzare modelli del progetto a varie scale, ad esempio 1:5000 per i modelli urbani o 1:200 per quelli architettonici, contenenti un notevole numero di informazioni e che sarebbero estremamente complessi da realizzare manualmente e comunque non replicabili con la stessa facilità. Partendo da questo presupposto la stampa 3D si rivela un interessante mezzo per la comunicazione delle caratteristiche di linguaggio degli edifici o per la morfologia di modelli urbani.

La volontà di mettere alla prova le potenzialità della stampa 3D e l'interesse nell'interdisciplinarietà (storia dell'arte, architettura, computer vision e rielaborazione digitale) hanno dato luogo alla collaborazione tra il *Computer Vision & Multimedia Lab* e l'*Architectural Maker Lab*, laboratori appartenenti rispettivamente al Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione e al Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura dell'Università di Pavia, l'ultimo dei quali specificamente dedicato alla stampa 3D in architettura.

Il modello tridimensionale virtuale della città di Pavia come rappresentata nel settimo arazzo, realizzato in *Cinema 4D*, è stato successivamente modificato su *Rhinoceros*, preparando diverse versioni multiscale (11x11cm, 15x15cm, 18x18cm, 36x36cm). Il passaggio successivo, punto chiave della trasformazione del modello da virtuale a fisico, è stato fatto in *Slic3r*, software open-source per lo slicing di oggetti da stampare in 3D. *Slic3r* codifica il modello virtuale (in G-code) e programma per la stampante i movimenti da effettuare, la velocità, la quantità di ma-

3D printing

The city of Pavia 3D printing

3D printing applications for architecture are constantly being experimented nowadays. One of the most interesting that has had an immediate impact in this field is creating project models at various scales, such as 1:5000 for urban models or 1:200 for architectural ones, with a quantity of information that would be extremely difficult to produce manually and which would be just as hard to replicate. Starting from these premises, 3D printing has proved to be an interesting medium when communicating the characteristic language of buildings or morphology of urban models.

The desire to test the potential of 3D printing and interest in multi-disciplinary ventures (art history, architecture, computer vision and digital computing) led to the collaboration between the *Computer Vision & Multimedia Lab* and the *Architectural Maker Lab*, both laboratories in the University of Pavia, the first part of the Depart-



Figura 15. La stampante *Sharebot NG* presso l'*Architectural Maker Lab* dell'Università di Pavia.

Figure 15. The *Sharebot NG* printer at the *Architectural Maker Lab* of the University of Pavia.

teriale da depositare, l'altezza degli strati (ovvero la definizione dell'oggetto).

Lo spessore degli strati è di fondamentale importanza in quanto determina la qualità del prodotto finale, i tempi di stampa e stabilisce la quantità di materiale da utilizzare e le temperature di estrusione. Per i modelli della città è stato utilizzato uno spessore di 0,18 mm equivalente a una media definizione; tale scelta è stata effettuata per poter bilanciare i tempi di stampa di circa 7 ore per il modello di medie dimensioni 15x15 cm, 7 ore per ognuno dei 4 pezzi della versione più grande di 36x36 cm, 8 ore per la versione 18x18 cm, mentre sono state necessarie circa 2 ore per il modello più piccolo 11x11 cm. Il materiale utilizzato per i modelli è un polimero termoplastico (PLA) tipicamente utilizzato nelle stampanti FDM (Fused Deposition Modeling),

ment of Electrical, Computer and Biomedical Engineering, the second, specifically dedicated to 3D printing in architecture, part of the Department of Civil Engineering and Architecture.

The virtual 3D model of the city of Pavia, as represented in one of the tapestries, was made using *Cinema 4D* but was later adapted in *Rhinoceros* to make different-sized versions (11x11 cm, 15x15 cm, 18x18 cm, 36x36 cm). The following step, a key point when turning virtual models into physical ones, was carried out using *Slic3r*, open-source software that slices objects to be printed in 3D. *Slic3r* reads the virtual model and translates it into a code (G-code) that communicates the movements to be performed to the printer, as well as information about the speed, amount of material to be deposited and height of the layers (i.e. the model definition).

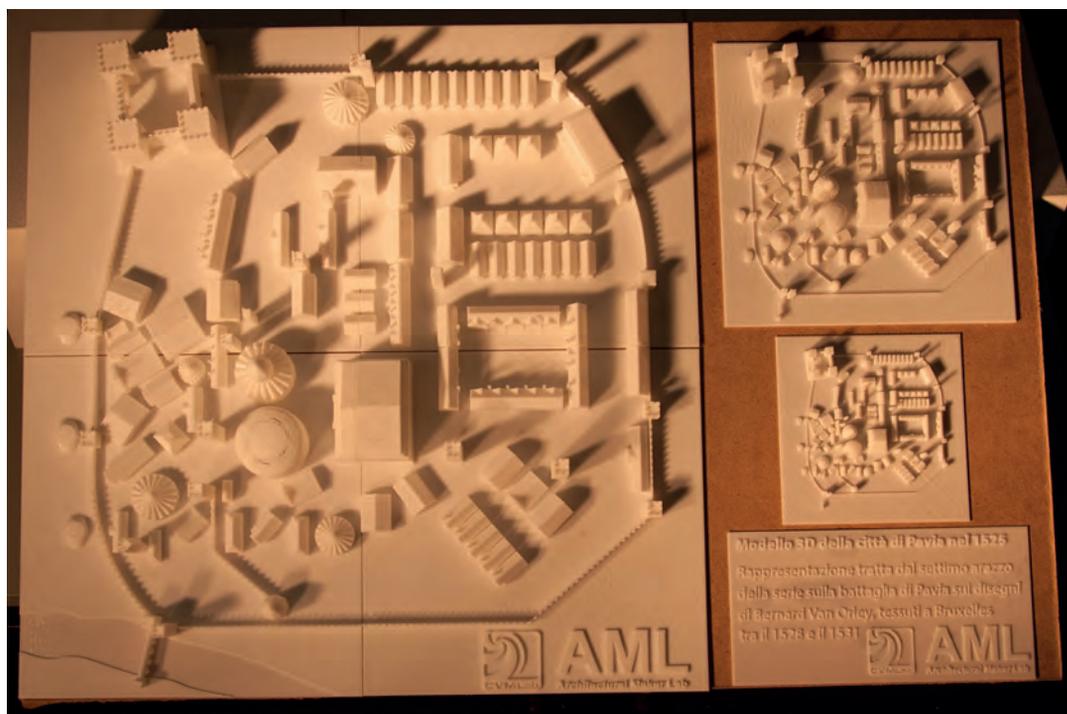


Figura 16. Stampa 3D con *Sharebot NG*: versioni multiscala del modello 3D della città di Pavia.

Figure 16. 3D printing *Sharebot NG*: 3D models of different sizes for the City of Pavia

come la *Sharebot NG* (Fig. 15). Il PLA è stato estruso alla temperatura di 220°C, tipica per questo materiale, ed è stato utilizzato il colore bianco per tutte le versioni, ad eccezione della versione 18x18 cm per cui si è scelto un colore che si avvicinasse alla tinta del laterizio (Fig. 16).

Stampa 3D monocromatica di arazzi tattili

Una seconda modalità di stampa, monocromatica, a fotopolimeri, disponibile presso il Dipartimento di Ingegneria Civile ed Architettura dell'Università di Pavia, è stata usata per le immagini tattili.



Figura 17. La stampante *Objet 30 Pro* presso il Dipartimento di Ingegneria Civile ed Architettura dell'Università di Pavia.

Figure 17. The *Objet 30 Pro* printer at the University of Pavia's, Dept. of Civil Engineering and Architecture.

Slicing settings are vital as they determine the quality of the final piece and print timing. They balance the amount of material to be used and extrusion temperatures. For the city models, layers 0.18 mm thick, an average setting, were used. This choice was made to balance out printing times: about 7 hours for the medium size 15x15 cm model, 7 hours for each of the 4 pieces in the 36x36 cm larger version, 8 hours for the 18x18 cm version, and about two hours for the smallest 11x11 cm model. PLA is the material used to print the models, a thermoplastic polymer typically used in FDM (Fused Deposition Modeling) printers, including the specific equipment used, a *Sharebot NG* (Fig. 15). PLA was extruded at a temperature of 220° C, typical for this material; white PLA was used for all the versions with the exception of the 18x18 cm one, for which a clay-like color was chosen (Fig. 16).

3D monochromatic printing of tactile images

A second printing mode, using a photopolymer based printer, available at the University of Pavia's, Department Civil Engineering and Architecture was used for 3D reproduction of tactile images.

The printer, an *Objet 30 Pro* made by *Objet-Stratasys* (Fig. 17), has a very high resolution and deposits layers with a thickness of up to 16 microns. The printer uses two photopolymers, one for model building, the other for the support structure. The materials are deposited on the printing tray in a liquid form and harden when illuminated by a UV lamp. The resulting model (Fig. 18) has a very high level of fine detail: the finishing used in the printing process allows very smooth surfaces and better highlighting of contours and Braille characters.

Some preliminary operations on the printing file, were undertaken using *Netfabb* to ensure high quality in printing resolution which meant

La stampante *Objet 30 Pro* della casa produttrice *Objet-Stratasys* (Fig. 17), ad altissima risoluzione, è in grado di depositare strati con uno spessore che raggiunge i 16 micrometri. Il materiale di stampa è costituito da due fotopolimeri, uno per la creazione del modello ed uno per la creazione di un'eventuale struttura di supporto: i materiali sono depositati sul piatto di stampa in forma liquida ed induriscono quando illuminati da una lampada ad ultravioletti. Il modello risultante (Fig. 18) è caratterizzato da un altissimo livello di dettaglio: la particolare finitura utilizzata per la stampa permette di ottenere superfici molto lisce, che consentono un maggiore risalto dei contorni e dei caratteri Braille.

Sono state necessarie alcune operazioni preliminari sui file di stampa, svolte grazie al software *Netfabb*, necessarie a garantire un'opportuna qualità del file. Data l'alta risoluzione, la stampa di ogni parte dell'arazzo tattile ha richiesto diverse ore. Al termine del processo di stampa, ogni pezzo è stato trattato per la rimozione del materiale di supporto.

Stampa 3D a colori di modelli e arazzi tattili

La stampante a colori 3D *ProJet 460Plus* (Fig. 19) è una delle più convenienti al mondo della sua categoria per la facilità d'uso offerta. Incorpora 3 canali CMY a colori e opera con *VisiJet PXL Core* (calcio solfato emiidrato, materiale composto da una finissima polvere minerale di colore bianco latte, simile al gesso, e contenente speciali additivi che la rendono immune all'umidità), dispone di controllo attivo della polvere e non produce rifiuti liquidi.

Alcune delle specifiche tecniche sono: risoluzione di 300x450 dpi, dimensione minima 0,15 millimetri, strato di spessore 0,1 millimetri, volume netto prodotto (xyz) 203x254x203 mm, formati di file di dati di input supportati STL, VRML, PL Y, 3DS, FBX, ZPR. Il software as-



that the process of printing each “tile” or piece in the tapestry lasted several hours. Once printed, each tile was treated to remove the support material.

Implementation with colour 3D printer

The *ProJet 460Plus* full-colour 3D printer (Fig. 19) is one of the most affordable color 3D printers in its class in relation to the ease-of-use it provides. It incorporates 3 CMY color channels and operates with *VisiJet PXL Core* i.e. calcium sulfate hemihydrate, a material which consists of a milky colored, chalky mineral powder containing special additives that make it immune to moisture; the printer actively controls the powder and produces no liquid waste.

Technical specifications include: 300x450 dpi resolution, 0.15 mm minimum size, 0.1 mm layer thickness,) and 203x254x203 mm (xyz) net product volume. Input data file formats supported

Figura 18. Un dettaglio di uno degli arazzi realizzati con la stampante *Objet 30 Pro*. Si nota l'alta qualità della finitura superficiale e il livello di dettaglio raggiungibile.

Figure 18. A detail of one of the tapestries realized using the *Objet 30 Pro* printer. Showing the high quality surface finish and level of detail achieved.

sociato alla stampante consente di progettare, creare, comunicare, pianificare, dirigere, realizzare prototipi o produrre parti funzionali, dispositivi e di assemblaggio in maniera rapida.

La velocità di stampa verticale è di 23 mm/h, pertanto i personaggi degli arazzi alti 20 cm richiedono nove ore di pura stampa e la stampa di un arazzo tattile di 40x75 cm richiede circa due ore (20 min per ogni blocco da 20x25 cm). Ovviamente con lo stesso tempo di esecuzione possono essere stampanti tanti personaggi quanti se ne possono allineare sul piano di stampa.

are: STL, VRML, PL Y, 3DS, FBX, ZPR. The software associated with the printer allows prototypes or functional parts, devices and assembly to be designed, created, communicated, planned, directed, and produced in a fast way.

Vertical printing speed is 23 mm/h, so printing out a 20 cm tall character from one of the tapestries takes nine hours while a 40x75 cm tactile tapestry takes approximately two hours (20 min for each block of 20x25 cm). Obviously with the same running time as many characters as can be aligned on the printing table can be printed.

1. Mazura M., Horjan G., Vannini C., Antlej K., Cosentino A.: *eCult Vademecum A Guide for Museums to Develop a Technology Strategy & Technology Providers to understand the Needs of Cultural Heritage Institutions*, (2015). URL: <http://www.ecultobservatory.eu/sites/ecultobservatory.eu/files/documents/Vademecum_PDF_V2.0.pdf>, consulted November 2, 2015.
2. *3D-COFORM Tools & Expertise for 3D Collection Formation*. URL: <<http://www.3d-coform.eu/index.php>>, consulted November 2, 2015.
3. URL: <<http://www.maxon.net/>>, consulted November 2, 2015.
4. URL: <<https://www.mixamo.com/fuse>>, consulted November 24, 2015.
5. URL: <<http://www.ics.forth.gr/tourbot/>>, consulted November 2, 2015.



Figura 19. La stampante ProJet 460Plus presso l'Accademia delle Scienze di Bulgaria.

Figure 19. The ProJet 460Plus full-colour 3D printer at the Bulgarian Academy of Sciences.

Immagini tattili Tactile images

VIRGINIO CANTONI*, STANISLAV GYOSHEV**, DIMITAR KARASTOYANOV**,
MAURO MOSCONI*, MASSIMILIANO PINI*, ALESSANDRA SETTI*, NIKOLAY STOIMENOV**

*Dip. Ingegneria Industriale e dell'Informazione – Università di Pavia,

**Istituto di Tecnologie dell'Informazione e Comunicazione – Accademia delle Scienze di Bulgaria

*Dept. of Electrical, Computer and Biomedical Engineering – University of Pavia,

**Institute of Information and Communication Technologies – Bulgarian Academy of Sciences

Servizi ai visitatori e accessibilità

È interessante indagare le esperienze e le modalità dell'esplorazione tattile di ricostruzioni 3D¹. Ad alcune persone sembra innaturale poter utilizzare solo la vista; di conseguenza esse maturano un senso di frustrazione durante la visita di mostre dove non è consentito toccare e 'sentire' gli oggetti e i materiali esposti. Inoltre, il tatto è molto importante in particolare per i non vedenti e gli ipovedenti, che sfruttano il senso del tatto per accedere alle informazioni del mondo esterno attraverso contorni e consistenza strutturale.

In questo contesto il Consorzio di Accesso ai Musei (*Museum Access Consortium - MAC*) ha promosso un'iniziativa strutturale che si sforza di consentire alle persone con disabilità di accedere ai servizi culturali di ogni genere nell'area metropolitana di New York. L'obiettivo è quello di condividere esperienze, imparare gli uni dagli altri, e perfezionare le prassi migliori per raggiungere accessibilità e un maggiore coinvolgimento². Nel seguito sono esposte in dettaglio le attività implementate in quest'ambito presso la mostra di Pavia.

Services to Visitors and Accessibility

It is interesting to investigate experiences involving 3D touch and examine how people actually approach touch interaction¹. For some people the mere fact of only being able to watch seems unnatural. They get frustrated at exhibitions where touching and feeling objects and materials is prohibited. In actual fact, touching is extremely important, in particular, for blind and partially sighted visitors, who exploit tactile sensing to access information about the outside world through contours and textures.

In this connection, an initiative has been undertaken by the Museum Access Consortium (MAC) which strives to enable people with disabilities to access all types of cultural facilities in the metropolitan area of New York. The goal is to share experiences, learn from one another, and refine best practices that enhance accessibility and advance inclusion². The activities undertaken to this end in the Exhibition in Pavia are presented below in some detail.

Immagini tattili

Le immagini tattili sono realizzate in modo tale da poter essere lette e interpretate al tatto. La realizzazione non è immediata; per adattarsi ad un'interpretazione tattile, una figura deve essere semplificata e trasferita a un'immagine in rilievo che presenti forme distinte e logicamente omogenee, in modo che ogni componente possa trasmettere il contenuto originale in forma intelligibile.

La mostra propone una lettura tattile di un'opera d'arte (Fig. 1), sperimentando la trasposizione delle informazioni che gli arazzi raffigurano in una versione accessibile a visitatori ipo- e non vedenti. L'obiettivo è quello di consentire di vedere con le mani: le immagini degli arazzi sono digitalizzate, modificate, adattate, ricostruite come modelli tridimensionali ed infine stampate in 3D per poter essere lette con la punta delle dita.

Versione tattile degli arazzi

La modellazione degli arazzi per la stampa 3D è stata sviluppata in più fasi:

1. La versione degli arazzi ad alta risoluzione è stata pre-elaborata con tecniche di segmentazione³ per estrarne le parti interessanti. A questo scopo è stato applicato un algoritmo di estrazione dei contorni basato sulle caratteristiche cromatiche (i contorni dei segmenti sono rilevati in corrispondenza delle variazioni significative dei livelli di colore). L'operatore di base usato è quello noto come DoG (*Difference of Gaussian*)⁴ che estrae aree di iso-cromaticità con contorni chiusi. Il livello di dettaglio dell'estrazione è definito dalle ampiezze di due gaussiane, ed è stato scelto in funzione delle caratteristiche dimensionali del segmento stesso.
2. I segmenti sono quindi stati selezionati e in-

Tactile images

Tactile images are made in such a way that they can be read and interpreted by touch. The implementation is not immediate; to be suitable for tactile interpretation, a figure must be simplified and transferred to a relief image that presents distinct and logically homogeneous forms, so that each component can convey the original content in an intelligible way.

The exhibition proposed a tactile reading of exhibits (Fig. 1), experimenting the transposition of the information that the tapestries depict in a version that was accessible to partially sighted and blind visitors. The goal was to allow people to see with their hands: the tapestry images were digitized, modified, adapted and reconstructed as three-dimensional models and finally printed out in 3D to be read through people's fingertips.

Tapestries tactile version

Modeling of the tapestries for 3D printing was developed in several phases:

1. A high-resolution version of the tapestries was preprocessed using segmentation techniques³ to extract the interesting parts. To this end, an algorithm for the extraction of contours based on color characteristics was applied (the contours of segments were detected as significant changes in color levels). The DOG (*Difference of Gaussian*)⁴ operator was used to extract areas of iso-chromaticity with closed contours. The level of extraction detail was defined by the amplitude of the two Gaussian curves, and was chosen as a function of the segment's dimensional characteristics.
2. The individual segments were then selected and integrated on the basis of their relevance to the scene, both with reference to inner ou-



Figura 1. Le immagini tattili in esposizione alla mostra sulla Battaglia di Pavia.

Figure 1. Tactile images at the Battle of Pavia Exhibition.

tegrati in base alla loro rilevanza nella scena, sia con riferimento ai contorni esterni che ai contorni interni.

3. L'immagine dei contorni è stata acquisita con il package *Adobe Photoshop*⁵ e ognuno dei segmenti è stato isolato in un diverso livello. Ogni arazzo è stato così scomposto in 20÷30 livelli (Fig. 2).
4. Ogni segmento è stato quindi posto in corrispondenza biunivoca con i simboli dell'alfabeto Braille⁶. L'abbinamento segmento-simbolo è stato fatto sulla base della localizzazione, della vicinanza e del contenuto semantico. Sulla stessa base si è scelto di riprodurre il segmento in modalità piena o vuota. Quindi i caratteri Braille sono stati posizionati in modo ottimale all'interno di ogni segmento.
5. Ogni arazzo è infine stato codificato con tre livelli di profondità:
 - livello base*, usato per il fondo e per i contorni interni nei segmenti pieni;
 - livello 1*, usato per tutti i contorni esterni (visualizzati in figura 2 in rosso), per i punti di contorno interni dei segmenti pieni (in bianco), e per i caratteri Braille identificativi

ter contours.

3. *Adobe Photoshop*⁵ was used to acquire image contours and each segment was isolated as a different level. Each tapestry was thus decomposed into 20÷30 levels (Fig. 2).
4. Each segment was then matched with symbols from the Braille alphabet⁶. The choice of the symbol was made on the basis of location, proximity and meaning. On the same basis, it was decided to reproduce the segment in full or empty mode. The symbols were optimally positioned within each segment.
5. Each tapestry was then reproduced at three depths:
 - Base level*, for bottom and inner contours in full segments;
 - Level 1*, for all the outer contours (shown in red in Figure 2), for the inner contour points of full segments (in white), and for Braille identifiers of empty segments (in black);
 - Level 2*, for Braille letters that identify full segments (in green).
6. Each tapestry was processed with *CINEMA 4D* software and protruded respecting the dif-

dei segmenti vuoti (in nero);

livello 2, per i caratteri Braille identificativi dei segmenti pieni (in verde).

6. Ogni arazzo è stato quindi acquisito con il software *Cinema 4D* e protruso rispettando le diverse profondità.
7. Ogni arazzo è stato infine elaborato con il software *3D Edit Pro* della stampante 3D e riprodotto sulla superficie colorata dell'arazzo.

Nel seguito ogni arazzo è presentato con titolo e descrizione sommaria⁷ accompagnato da una legenda che esplicita la corrispondenza biunivoca dei segmenti con i simboli Braille.

ferent depths.

7. Finally, each tapestry was processed with *ProJet 460Plus* full color 3D software *3D Edit Pro* and then produced on the colored surface of the tapestry.

Each tapestry is introduced with a title and description⁷, along with a legend stating the correspondence of segments with symbols in the Braille alphabet.

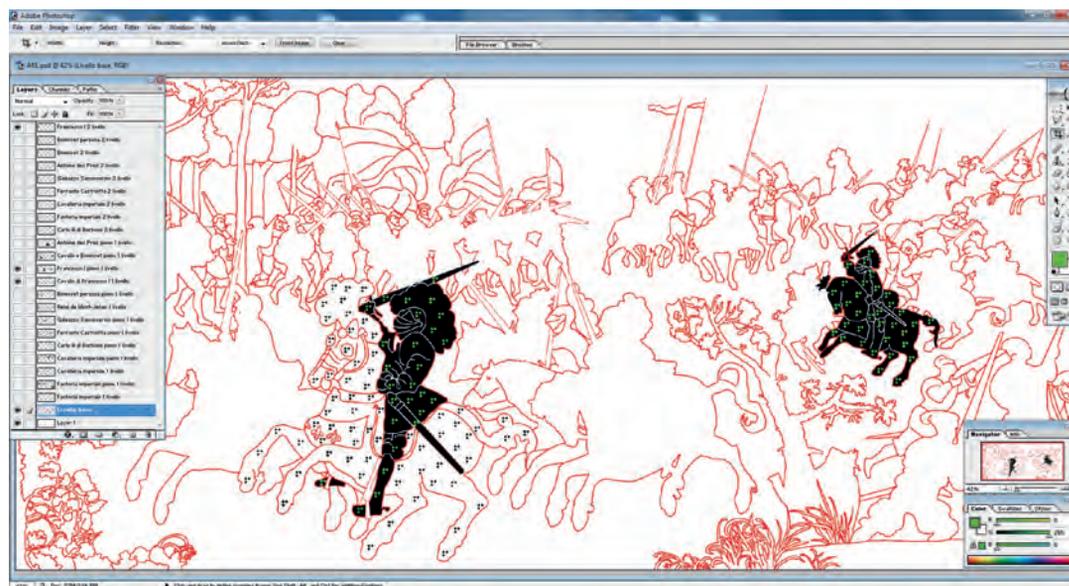


Figura 2. L'arazzo "Avanzata dell'esercito imperiale e l'attacco della gendarmeria francese guidata da Francesco I" è stato diviso in 23 livelli. La figura rappresenta, con soli quattro livelli effettivi, il re francese Francesco I in due fasi della battaglia: a destra, nel combattimento con Ferrante Castriotta, che verrà ucciso dal re; a sinistra, nella fase successiva della battaglia durante la quale, seguendo Guillaume Gouffier, cadrà fatalmente nell'imboscata imperiale. I quattro livelli corrispondono a: 1) il primo evidenziato nella tabella Layers, a sinistra in alto (Francesco I 2 livello) raggruppa l'insieme dei caratteri Braille; 2) a centro tabella (Francesco

I pieno 1 livello) raggruppa la persona del re a sinistra e il re a cavallo a destra; 3) sempre al centro della tabella (Cavallo di Francesco I 1 livello) è l'insieme dei caratteri Braille del cavallo a sinistra; infine, 4) a fondo tabella (Livello base) raggruppa i contorni esterni di tutti i segmenti.

Figure 2. The "Advance of the Imperial army and the attack of the French gendarmerie led by Francis I" tapestry was split into 23 layers. Effectively using only four levels, the Figure represents the French King, Francis I in two phases of the battle: on the right, he is shown fighting with Ferrante Castriotta, who he subsequently kills; on the left, is the next phase of the battle during which, the king following Guillaume Gouffier, is trapped by an Imperial ambush. The four levels correspond to: 1) the first level in the Layers table, top left – Francis I 2nd level – groups the Braille characters; 2) center of the table – Francis I full 1st level – this includes the person of the king to the left and the king riding his horse to the right; 3) again center of the table – Francis I's horse 1 1st level – is the set of Braille characters for the horse to the left; finally, 4) bottom of the table – Base Level – groups together all the outermost contours of all segments.



Avanzata dell'esercito imperiale e attacco della gendarmeria francese guidata da Francesco I

L'arazzo (Fig. 3a) raffigura sullo sfondo la fanteria e la cavalleria dell'esercito imperiale che da sinistra avanzano minacciose, armate di picche e lance, verso le truppe francesi guidate dal loro re Francesco I. Questi è raffigurato in secondo piano sulla destra nell'atto di uccidere, in uno scontro ravvicinato, il comandante della schiera nemica Ferrante Castriotta, marchese di Civita Santangelo, episodio che rappresentò il successo iniziale delle truppe francesi. In primo piano, a sinistra della quercia, il re è di nuovo raffigurato con il suo seguito mentre incita all'attacco avanzando verso il boschetto, luogo del tranello fatale. Francesco I indossa una poderosa armatura d'argento impreziosita da una banda di broccato d'oro e dall'elmo riccamente piumato e monta un cavallo con pettieria d'acciaio su cui sono tessuti i gigli di Francia. Il cavaliere al suo fianco, con cavallo

Advance of the Imperial army and the attack of the French gendarmerie led by Francis I

The tapestry (Fig. 3a) depicts the beginning of the battle. Infantry and cavalry of the Imperial army are represented in the background threatening to advance from the left, armed with pikes and spears, against the French troops led by their King, Francis I. The latter is depicted in the background on the right killing the commander of the enemy army Ferrante Castriotta, Marquis of Civita Santangelo in a tightly fought battle, an episode which marked the initial success of the French troops. In foreground, on the left side of the oak, the king is depicted once again with his entourage while inciting the attack and advancing toward the grove, the site of the fatal trap. Francis I is shown wearing massive silver armor adorned with a band of gold brocade and a richly plumed helmet, riding a horse with a steel chest protector on which the lilies of France are woven.

Figura 3a. L'arazzo "Avanzata dell'esercito imperiale e attacco della gendarmeria francese guidata da Francesco I".

Figure 3a. The "The advance of the Imperial army and the attack of the French gendarmerie led by Francis I" tapestry.

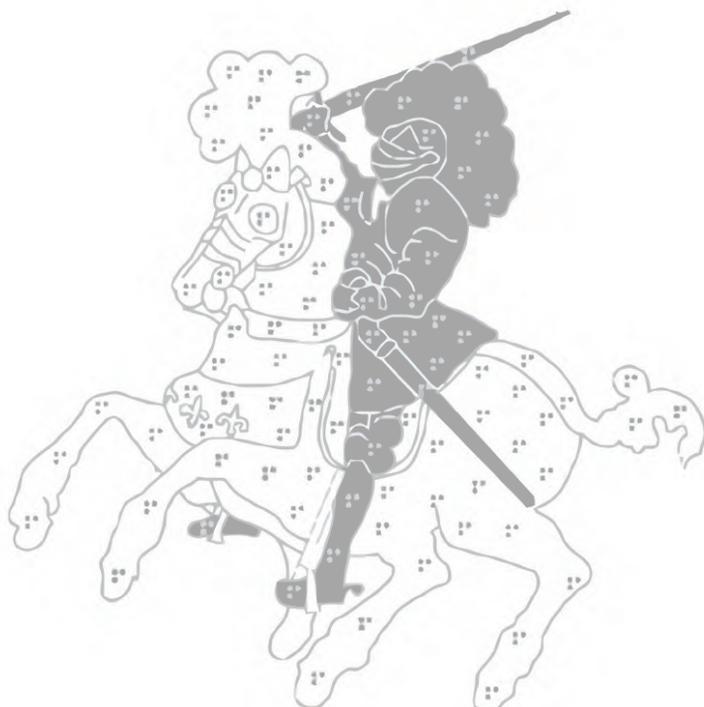


Figura 3b. Rielaborazione dell'arazzo di Fig. 3a. Sono mostrati tutti i livelli.

Legenda: Francesco I (cavallo); Guillaume Gouffier; Antoine des Prez; René de Mont-Jehan; Galeazzo Sanseverino; Carlo III di Borbone; Cavalleria imperiale; Fanteria imperiale.

Figure 3b. Re-elaboration of the tapestry of Fig. 3a. All levels are shown.

Legend: Francis I (horse); Guillaume Gouffier; Antoine des Prez; René de Mont-Jehan; Galeazzo Sanseverino; Charles III of Borbone; Imperial cavalry Band; Imperial Infantry.



bianco e celata alzata, potrebbe essere identificato con l'ammiraglio di Francia Guillaume Gouffier, amico e consigliere di Francesco I, presente anche nell'episodio della cattura del re. Seguono tre illustri cavalieri. La Figura 3b rappresenta l'adattamento a versione tattile del contenuto semantico dell'arazzo, mentre la Figura 3c è il prodotto della stampa 3D a colori.

The knight at his side, with a white horse and raised helmet, could well be the Admiral of France, Guillaume Gouffier, a friend and adviser to Francis I, also depicted in the episode where the king is captured. Three illustrious knights are following them. Figure 3b shows the transposition of the tapestry for tactile interpretation, while Figure 3c is the final full color 3D print.

Figura 3c. Stampa 3D a colori della versione tattile dell'arazzo "Avanzata dell'esercito imperiale e attacco della gendarmeria francese guidata da Francesco I".
Figure 3c. 3D printing of the tactile version of the tapestry "Advance of the Imperial army and the attack of the French gendarmerie led by Francis I".



Sconfitta della cavalleria francese

Le fanterie imperiali si impadroniscono delle artiglierie nemiche. È qui raffigurato (Fig. 4a) il primo successo degli imperiali con l'attacco degli archibugieri spagnoli alla cavalleria francese e la perdita delle artiglierie ad opera dei lanzichenecchi. Le truppe imperiali sono guidate da Alfonso d'Avalos, marchese del Vasto, probabilmente da identificare nell'ufficiale a sinistra che indossa un corpetto di cuoio e brandisce un'alabarda. Sulla sinistra la figura equestre, identificabile come Ferdinando Francesco d'Avalos, marchese di Pescara, coperto da una leggera armatura, indica agli uomini il luogo dell'attacco. Sulla destra dell'arazzo è raffigurato il combattimento tra i lanzichenecchi imperiali guidati da Georg von Frundsberg e le truppe mercenarie delle Bande Nere al servizio dei francesi. Vittime della battaglia furono anche i comandanti delle Bande Nere Francesco di Lorena e Richard de la Pole, duca di

Defeat of the French cavalry

The Imperial infantry reign over the enemy artillery. The initial success of the Imperial army is shown (Fig. 4a) with the attack of Spanish musketeers on the French cavalry and the consequent loss of the artillery as a result of the actions of the mercenary soldiers, the Landsknechts. Alfonso d'Avalos, Marquis of Vasto, is shown leading the triumphant troops; he is depicted on the left wearing a leather bodice and wielding a halberd. On the left, an equestrian figure stands out among his men, identified as Francis Ferdinand d'Avalos, Marquis of Pescara, in light armor, caught while indicating the place of attack to his men. The right side of the tapestry depicts the frantic battle between the Imperial mercenaries led by Georg von Frundsberg and the mercenary troops of the Black Bands in the service of the French. The violence to which the latter were subjected is evidenced by

Figura 4a. L'arazzo "Sconfitta della cavalleria francese. Le fanterie imperiali si impadroniscono delle artiglierie nemiche".

Figure 4a. The "Defeat of the French cavalry. The Imperial infantry reign over the enemy artillery" tapestry.

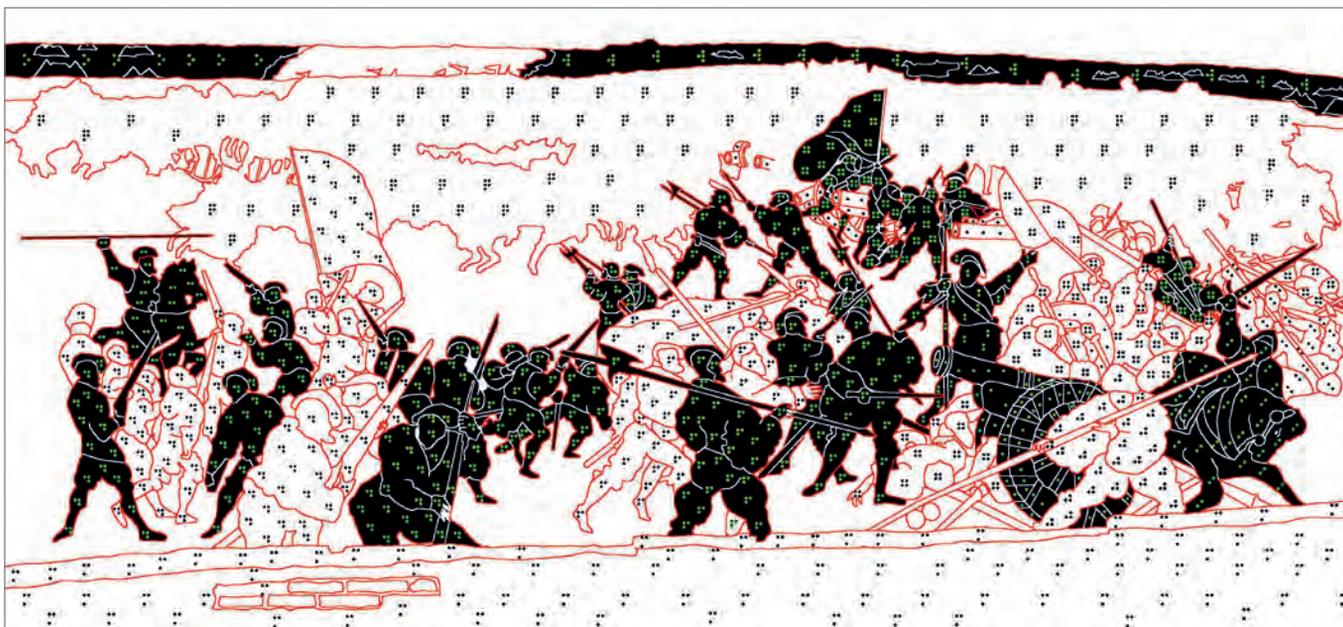


Figura 4b. Rielaborazione dell'arazzo di Fig. 4a. Sono mostrati tutti i livelli (bianco h=0: fondo e contorni interni nelle figure piene; nero h=1: contorni esterni di tutti; nero h=1: contorni interni e caratteri braille nelle figure vuote, e figure piene; verde h=2: caratteri braille nelle figure piene).

Legenda: Ferdinando d'Avalos ; Imperiali e ; Georg von Frundsberg ; Lanzichenecci e ; Alfonso d'Avalos ; Morte di Richard de la Pole (suo uccisore) e di Francesco di Lorena ; Duelli mortali e ; Battaglia ; Accampamento imperiale ; francese ; Cannoni e ; Mura del Parco .

Figure 4b. The tapestry shown in Fig. 4a re-elaborated. All levels are shown (white h=0: bottom and inner contours in full figures; red h=1: external contours of all, black h=1: internal boundaries and Braille in hollow figures, and full figures; green h=2: Braille in full figures).

Legend: Ferdinand d'Avalos ; Imperials and ; Georg von Frundsberg ; Landsknechts and ; Alfonso d'Avalos ; Death of Richard de la Pole (his killer) and of Francis of Lorena ; Deadly duels and ; Battle ; Imperial camp ; French ; Cannons and ; Walls of the Park .





Suffolk, rappresentati sulla destra in basso, nella fase finale del duello. Fanno da sfondo in alto gli accampamenti militari.

La Figura 4b rappresenta l'adattamento a versione tattile del contenuto semantico dell'arazzo, mentre la Figura 4c è il prodotto della stampa 3D a colori.

the many dead bodies at the foot of the guns. Victims of the battle were also the commanders of the Black Bands, Francis of Lorraine and Richard de la Pole, Duke of Suffolk. At the top, in the background, military camps can be seen.

Figure 4b shows the transposition of the tapestry for tactile interpretation, while Figure 4c is the final full color 3D print.

Figura 4c. Stampa 3D a colori della versione tattile dell'arazzo "Sconfitta della cavalleria francese. Le fanterie imperiali si impadroniscono delle artiglierie nemiche".

Figure 4c. 3D printing of the tactile version of the tapestry "Defeat of the French cavalry. The Imperial infantry reign over the enemy artillery".



Cattura del re di Francia Francesco I

L'arazzo (Fig. 5a) raffigura l'episodio principale della battaglia: in primo piano a sinistra il re Francesco I è sorretto dai cavalieri Pompérant, Nicolas von Salm, comandante della cavalleria tedesca e probabile autore del simbolico abbattimento del cavallo del re, e Jean Bôtard, conte di Montmartin. I tre cavalieri aiutano il re a liberarsi dal peso del cavallo ferito. Alle spalle di questi un cavaliere innalza al cielo la spada reale, impugnandola con entrambe le mani in segno di vittoria. In primo piano, nell'angolo destro, un soldato, tenendo per le briglie il cavallo di un comandante, annuncia ai compagni la cattura del re; al centro tre cavalieri francesi alzano la spada in segno di vittoria delle armate di Carlo V; sono inoltre identificabili Carlo di Lannoy che scende da cavallo a sinistra del gruppo, vicino all'alfiere con lo stendardo, e Carlo di Borbone mentre entra da destra. Sullo sfondo, a sinistra, è rappresentata

Capture of the French King, Francis I

The tapestry (Fig. 5a) depicts the crucial episode in the battle: King Francis I (left foreground) is portrayed supported by the Knights Pompérant; Nicolas von Salm, commander of the German cavalry and probable author of the symbolic killing of the king's horse, and Jean Bôtard, Earl of Montmartin. The three knights help King Francis to free himself from the weight of the wounded horse. Behind them, a knight is holding the King's sword up high with both hands, in a sign of victory. In the foreground, in the right-hand corner, a soldier holds the reins of a commander's horse as he announces the King's capture to his companions; in the middle, three knights raise their sword as a sign of the victory of the Charles V's armies; also identifiable are Charles de Lannoy who is dismounting to the left of the group and Charles of Bourbon entering from the right. In

Figura 5a. L'arazzo "Cattura del re di Francia Francesco I".

Figure 5a. The "Capture of the French king Francis I" tapestry.

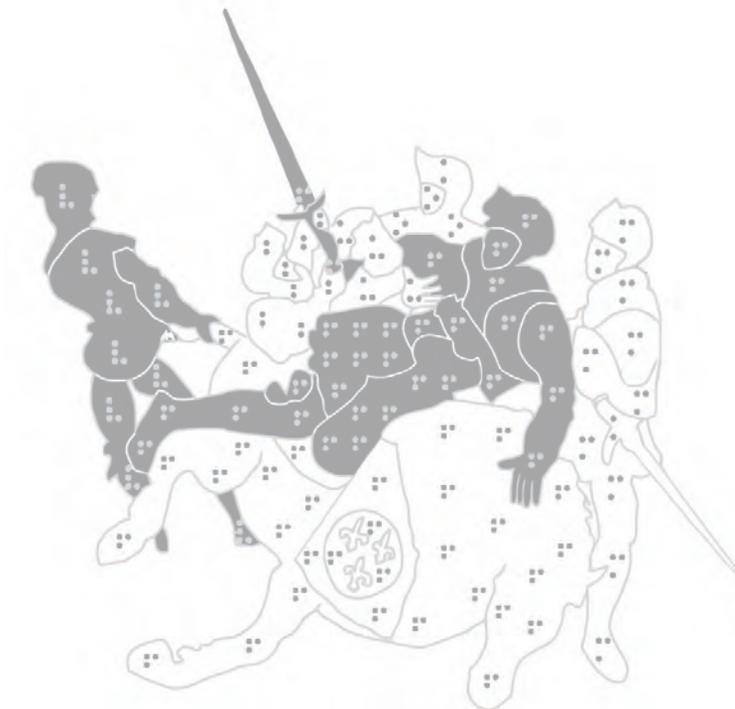


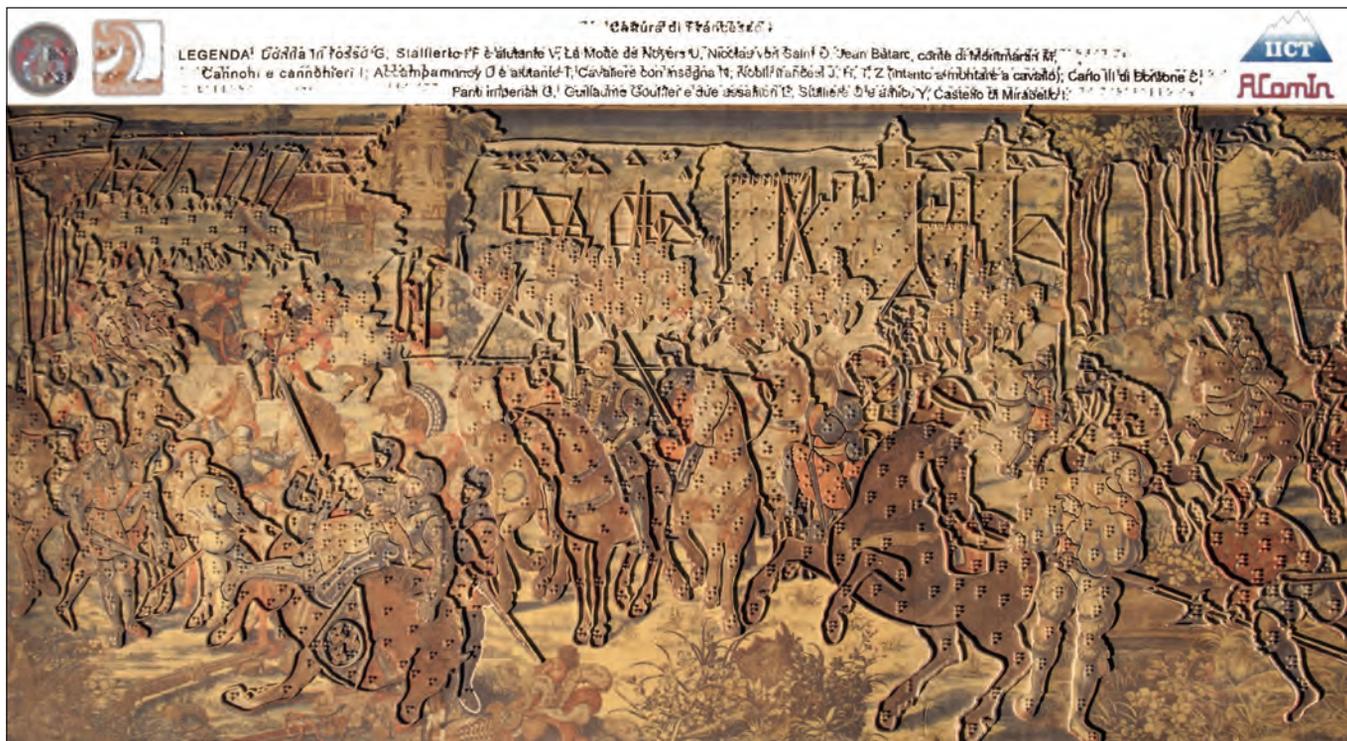
Figura 5b. Rielaborazione dell'arazzo di Fig. 5a. Sono mostrati tutti i livelli (bianco h=0: fondo e contorni interni nelle figure piene; rosso h=1: contorni esterni di tutti; nero h=1: contorni interni e caratteri braille nelle figure vuote, e figure piene; verde h=2: caratteri braille nelle figure piene).

Legenda: Francesco I (cavallo) e aiutante; La Motte; von Salm; Bâtard; Soldato con spada; Carlo di Lannoy e aiutante; Portainsegna (cavallo); Nobili francesi: (cavallo), (cavallo), (cavallo); Carlo III di Borbone; Cavalleria e, e fanti imperiali; Morte di Guillaume Gouffier; Stalliere (cavallo) e amico; Castello di Mirabello.

Figure 5b. The tapestry shown in Fig. 5a re-elaborated. All levels are shown (white h=0: bottom and inner contours in full figures; red h=1: outer contours of all, black h=1: inner boundaries and Braille in hollow figures, and full figures; green h=2: Braille in full figures).

Legend: Francis I (horse) and assistant; La Motte; von Salm; Bâtard; Soldier with sword; Charles of Lannoy and assistant; Soldier holding the flag (horse); French Noblemen: (horse), (horse), (horse), (horse); Charles III of Borbone; Cavalry and, and Imperial infantry; Death of Guillaume Gouffier; Hostler (horse) and friend; Castle of Mirabello.





l'uccisione di Guillaume Gouffier da parte di due cavalieri imperiali.

La Figura 5b rappresenta l'adattamento a versione tattile del contenuto semantico dell'arazzo, mentre la Figura 5c è il prodotto della stampa 3D a colori.

the background, on the left, is the killing of Guillaume Gouffier by two Imperial Knights.

Figure 5b represents the transposition of this tapestry for tactile interpretation, while Figure 5c is the final full color 3D print.

Figura 5c. Stampa 3D a colori della versione tattile dell'arazzo "Cattura del re di Francia Francesco I".

Figure 5c. 3D printing of the tactile version of the tapestry "Capture of the French king Francis I".



Invasione del campo francese e fuga delle dame e dei civili al seguito dell'esercito di Francesco I

È qui raffigurata (Fig. 6a) l'irruzione delle truppe imperiali nel campo francese e gli assediati, allarmati, tentano la fuga portando con sé i loro averi. A sinistra alcuni fanti combattono strenuamente nel tentativo di salvarsi, mentre sullo sfondo altri, vicino al castello di Mirabello, cercano di fuggire attraversando il torrente Vernavola. Al centro un folto gruppo di soldati e di civili cerca di trovare scampo attraverso una breccia nel muro. Tra questi sono rappresentate diverse figure femminili: la bella dama elegantemente vestita in rosso, blu e oro, assieme alla sua dama di compagnia, a cavallo di un'asina bianca riccamente bardata; la vivandiera alla testa dei fuggiaschi e le due donne, una giovane e una anziana, all'estremo dell'arazzo,

Invasion of the French camp and escape of ladies and civilians following the army of Francis I

The Imperial troops' raid on the French camp is shown here (Fig. 6a). Panic and confusion is shown as spreading among the defenders who are trying to escape, carrying their belongings. On the left, some infantry men are fighting strenuously in an attempt to save themselves, while in the background others, close to the Castle of Mirabello, are attempting to escape by crossing the River Vernavola. In the center, a large group of soldiers and civilians are trying to escape through a breach in the wall. They include various female figures: the beautiful lady elegantly dressed in red, blue and gold, along with her lady in waiting, riding on a richly caparisoned white donkey, the vivandière leading the fugitives' way and the two

Figura 6a. L'arazzo "Invasione del campo francese e fuga delle dame e dei civili al seguito dell'esercito di Francesco I".

Figure 6a. The "Invasion of the French camp and escape of ladies and civilians following the army of Francis I" tapestry.

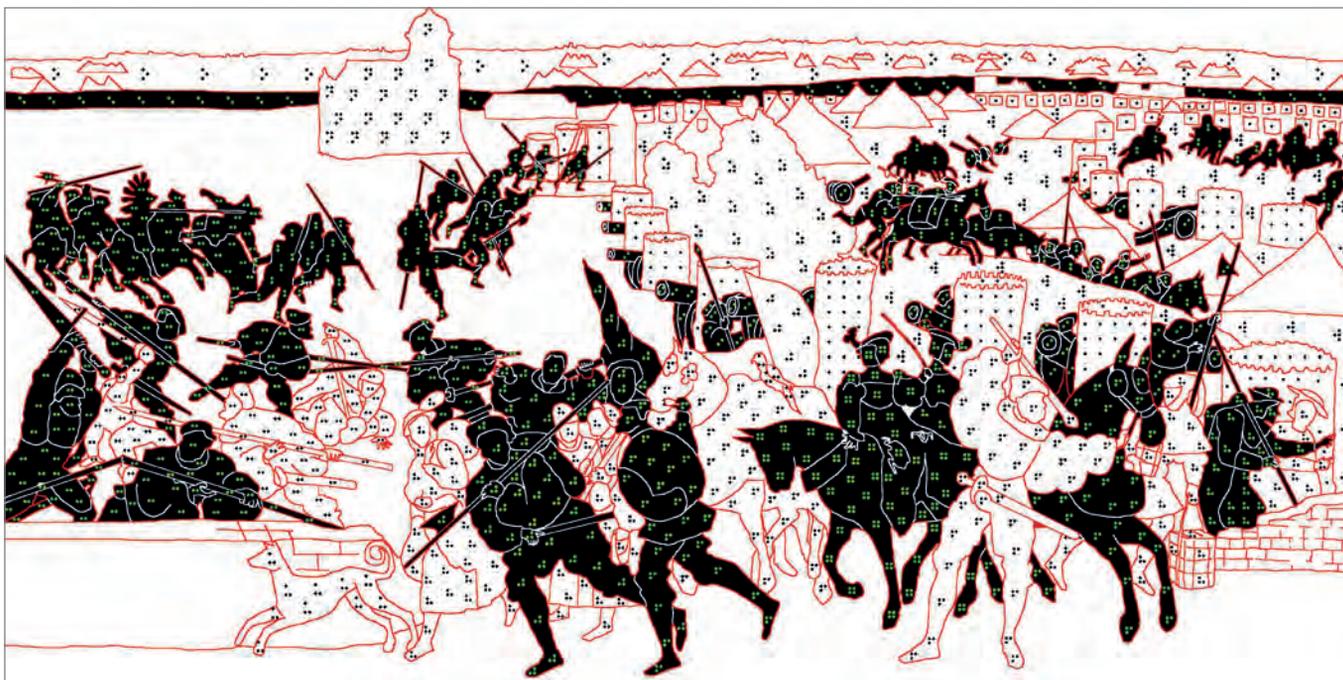
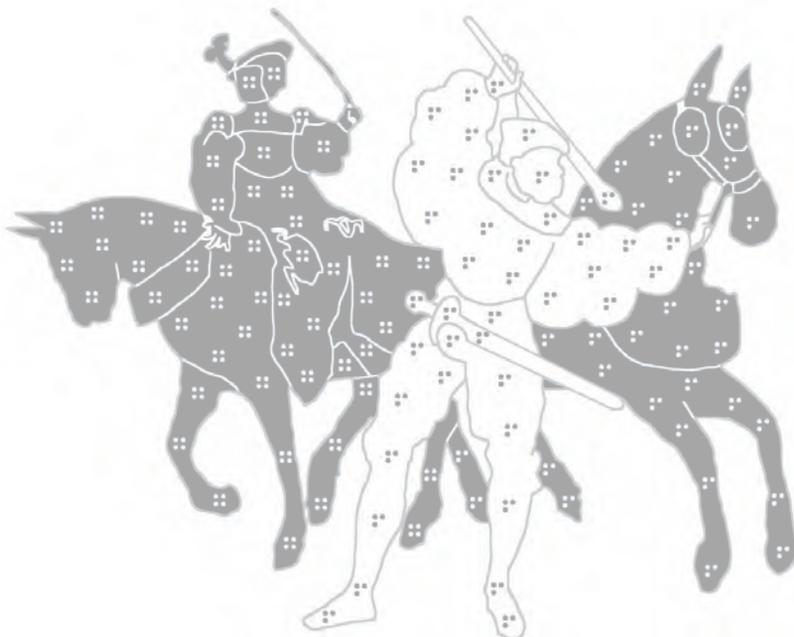


Figura 6b. Rielaborazione dell'arazzo di Fig. 6a. Sono mostrati tutti i livelli (bianco h=0: fondo e contorni interni nelle figure piene; rosso h=1: contorni esterni di tutti; nero h=1: contorni interni e caratteri braille nelle figure vuote, e figure piene; verde h=2: caratteri braille nelle figure piene).

Legenda: Dama in rosso; Stallieri e con mulo e; Donne al seguito e; Guerrieri al seguito; Uomini in fuga; Combattimenti e; Gabbioni; Cannoni e cannonieri; Accampamenti francesi e; Mura del Parco; Esplosione; Cane e pappagallo; Castello di Mirabello.

Figure 6b. The tapestry shown in Fig. 6a re-elaborated. All levels are shown (white h=0: bottom and inner contours in the full figures; red h=1: outer contours of all, black h=1: inner boundaries and Braille in hollow figures, and full figures; green h=2: Braille in full figures).

Legend: Lady in red; Ostlers and with mule and; Women following the French army and; Warriors following the French army; Men fleeing; Fights and; Gabions; Cannons and gunners; French camps and; Walls of the Park; Explosion; Dog and parrot; Castle of Mirabello.





Gli svizzeri di Francesco I si rifiutano di avanzare e si sbandano

L'arazzo (Fig. 7a) rappresenta due momenti della battaglia separati diagonalmente dal muro del Parco Vecchio in prossimità del torrente Vernavola. A sinistra il campo francese, messo a ferro e fuoco dalle truppe imperiali, è attraversato da gruppi di civili in fuga; un soldato, in primo piano, porta via alcuni polli mentre fugge con la moglie e il figliolletto; sono raffigurati un frate, numerosi civili e una varietà di animali, tra i quali una scimmia che si arrampica sulla groppa di un mulo. Al centro dell'arazzo un gruppo di soldati svizzeri si rifiutano di combattere, mentre il loro capitano, Jean de Diesbach, in piedi con la lunga picca alzata, cerca una morte onorevole, offrendosi a un cavaliere nemico. Sullo sfondo, da sinistra, una serie di gabbioni in fila e un interessante edificio a pianta circolare, con tetto ricoperto di lastre metalliche e due torri laterali.

The Swiss led by Francis I refuse to move forward and disband

This tapestry (Fig. 7a) depicts two moments in the battle separated diagonally by the Old Park wall near the River Vernavola. On the left, is the French camp, set on fire by the Imperial troops. It is being crossed by groups of fleeing civilians; in the foreground is a soldier, attempting to take some chickens attached to his pike as he flees with his wife and son; the tapestry also shows a scared monk, civilians and animals, including a monkey climbing on the back of a mule. In the center of the tapestry is a group of Swiss soldiers who refuse to fight, while their captain, Jean de Diesbach, standing with his pike raised, is seeking an honorable death, offering himself to the enemy horsemen. In the background, on the left hand side is a row of gabions that ends with an interesting circular building, with a roof covered with metal plates and two side towers.

Figura 7a. L'arazzo "Gli svizzeri di Francesco I si rifiutano di avanzare e si sbandano".

Figure 7a. The "The Swiss led by Francis I refuse to move forward and disband" tapestry.

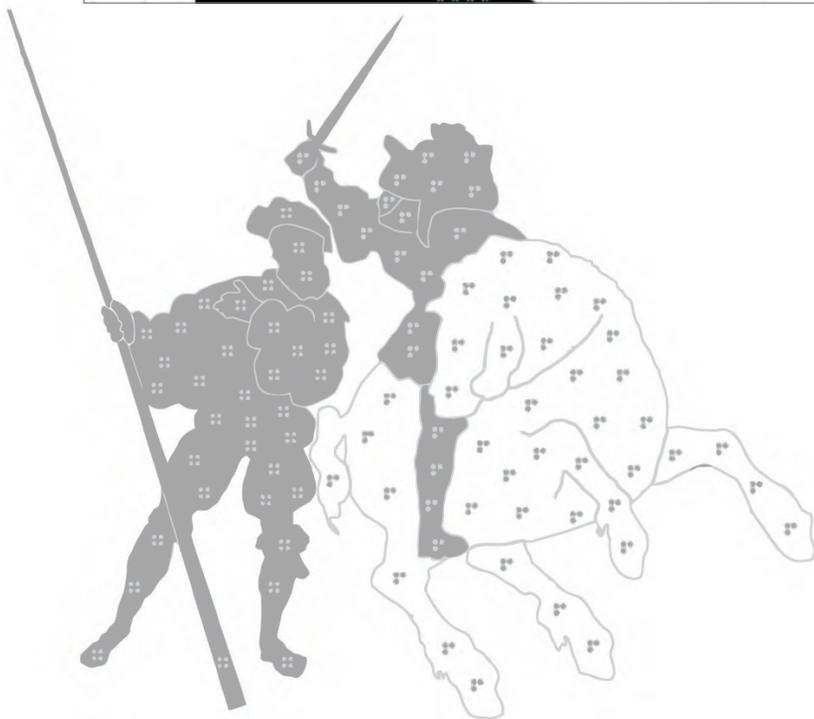


Figura 7b. Rielaborazione dell'arazzo di Fig. 7a. Sono mostrati tutti i livelli (bianco h=0: fondo e contorni interni nelle figure piene; rosso h=1: contorni esterni di tutti; nero h=1: contorni interni e caratteri braille nelle figure vuote, e figure piene; verde h=2: caratteri braille nelle figure piene).

Legenda: Jean de Diesbach e suo uccisore a cavallo; Mura del Parco Vecchio; Torrente Vernavola; Folla in fuga; Soldati svizzeri allo sbando; Cavalleria imperiale; Accampamento francese; Gabioni; Edificio circolare.

Figure 7b. The tapestry shown in Fig. 7a re-elaborated. All levels are shown (white h=0: bottom and inner contours in full figures; red h=1: outer contours of all, black h=1: inner boundaries and Braille in hollow figures, and full figures; green h=2: Braille in full figures).

Legend: Jean de Diesbach and his killer riding a horse; Walls of the Old Park; Vernavola river; Fleeing crowd; Swiss soldiers in disarray; Imperial cavalry; French camp; Gabions; Circular building.



La Figura 7b rappresenta l'adattamento a versione tattile del contenuto semantico dell'arazzo, mentre la Figura 7c è il prodotto della stampa 3D a colori.

Figure 7b represents the transposition of the tapestry for tactile interpretation, while Figure 7c is the final full color 3D print.

Figura 7c. Stampa 3D a colori della versione tattile dell'arazzo "Gli svizzeri di Francesco I si rifiutano di avanzare e si sbandano". **Figure 7c.** 3D printing of the tactile version of the tapestry "The Swiss led by Francis I refuse to move forward and disband".



Fuga dell'esercito francese e ritirata del duca d'Alençon oltre il Ticino

È questo l'episodio per il quale fu aspramente criticato il duca d'Alençon, ritratto a destra, mentre cerca la fuga dopo aver attraversato, assieme alla riserva della gendarmeria, un ponte che univa all'isolotto del Gravellone. La composizione (Fig. 8a) contiene scene di scontri frontali unite a rappresentazioni di battaglia. Sullo sfondo un tranquillo paesaggio collinoso, mentre in primo piano alcuni soldati corrono per riuscire ad attraversare il ponte che un milite francese cerca di distruggere a colpi di picca, eliminando per chi segue una possibile via di fuga. In basso a sinistra un uomo, caduto in acqua, cerca la salvezza aggrappandosi a un ramo.

Escape of the French army and retreat of the Duke of Alençon over the Ticino river

On the banks of the Ticino, the Duke of Alençon, brother of Francis I, together with the reserves of the gendarmerie, is trying to escape after crossing a bridge, probably the one linking the river to the tiny Gravellone island. The composition (Fig. 8a) has a great impact and a sense of dynamism, with scenes of frontal fighting linked to representations of the overall battle. In the background is a vast, tranquil hilly landscape contrasting with the action shown in the foreground. While some soldiers are running along attempting to cross the bridge, to the right a French soldier is trying to destroy it with his pike, in an effort to eliminate a possible escape path for those following them. They include the man in the bottom left of the tapestry who has fallen into the water and is holding on to a branch.

Figura 8a. L'arazzo "Fuga dell'esercito francese e ritirata del duca d'Alençon oltre il Ticino".

Figure 8a. The "Escape of the French army and retreat of the Duke of Alençon over the Ticino river" tapestry.

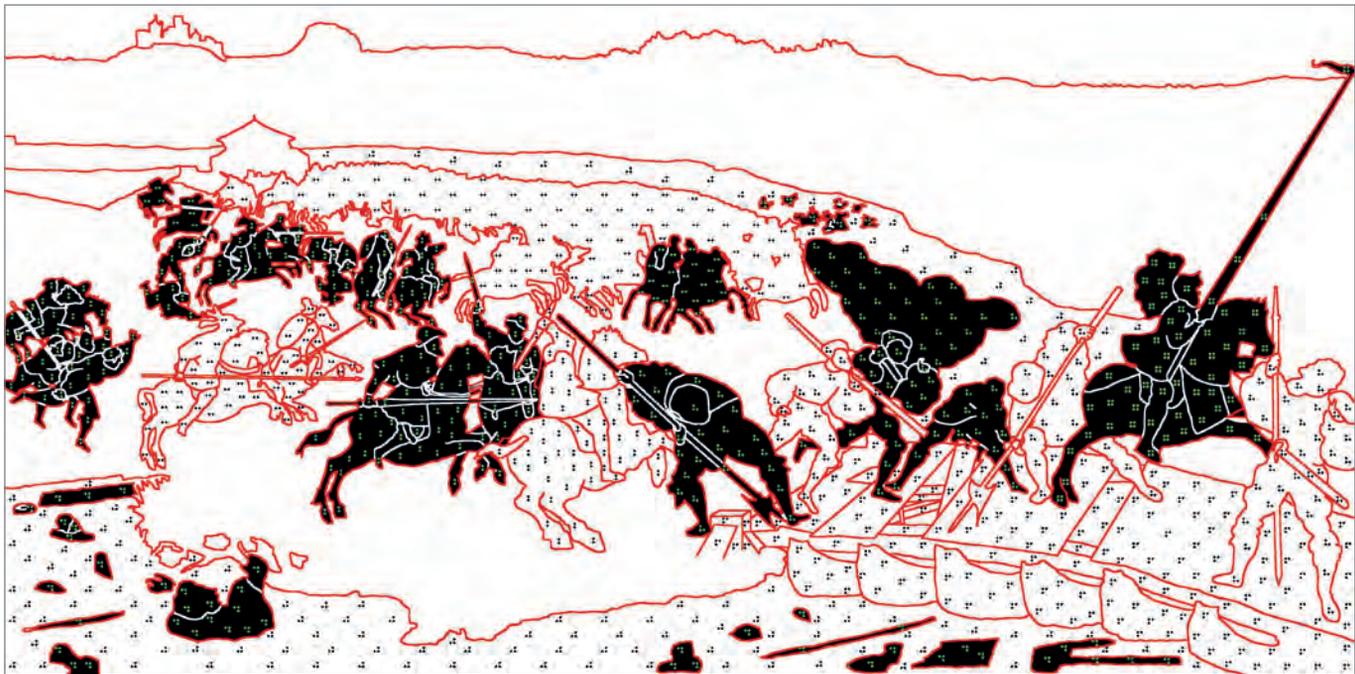


Figura 8b. Rielaborazione dell'arazzo di Fig. 8a. Sono mostrati tutti i livelli (bianco h=0: fondo e contorni interni nelle figure piene; rosso h=1: contorni esterni di tutti; nero h=1: contorni interni e caratteri braille nelle figure vuote, e figure piene; verde h=2: caratteri braille nelle figure piene).

Legenda: Duca d'Alençon ; Riserva della gendarmerie francese e ; Ponte di barche ; Fiume Ticino ; Tentativi di fuga attraverso il Ticino ; Scontri frontali e ; Rappresentazioni di battaglia e .

Figure 8b. The tapestry shown in Fig. 8a re-elaborated. All levels are shown (white h=0: bottom and inner contours in full figures; red h=1: outer contours of all, black h=1: internal boundaries and Braille in hollow figures, and full figures; green h=2: Braille in full figures).

Legend: Duke of Alençon and ; French gendarmerie reserve and ; Boat bridge ; Ticino river ; Outrush attempts through the Ticino ; Frontal fighting and ; Battle scenes and .



La Figura 8b rappresenta l'adattamento a versione tattile del contenuto semantico dell'arazzo, mentre la Figura 8c è il prodotto della stampa 3D a colori.

Figure 8b represents the transposition of the tapestry for tactile interpretation, while Figure 8c is the final 3D print.

Figura 8c. Stampa 3D della versione tattile dell'arazzo "Fuga dell'esercito francese e ritirata del duca d'Alençon oltre il Ticino".
Figure 8c. 3D printing of the tactile version of the tapestry "Escape of the French army and retreat of the Duke of Alençon over the Ticino river".



Sortita degli assediati e rotta degli Svizzeri che annegano in gran numero nel Ticino

Sotto le mura della città di Pavia, rappresentata sullo sfondo, la battaglia è prossima alla conclusione. Il Ticino rappresenta un luogo di possibile salvezza per l'esercito francese ormai disfatto e assalito alle spalle dalle truppe pavese che escono dalla città, comandate da Antonio de Leyva. I francesi cercano la fuga assieme ai soldati svizzeri superstiti, spinti verso il Ticino, oltre che dai pavesi, dalla cavalleria imperiale. Al centro (Fig. 9a) soldati e civili francesi escono dai rifugi tentando di fuggire. Nella parte in alto, dove è raffigurata la veduta della città di Pavia, si vedono a destra il ponte coperto e a sinistra il Castello Visconteo, e le diciassette torri esistenti all'epoca, localizzati in maniera corretta, ma con alcuni edifici ed elementi stilistici fantasiosi e non tipici della zona.

Sortie of the besieged and rout of the Swiss drowning in large numbers in the River Ticino

Under the walls of the city of Pavia, the battle on February 24th is presented as coming to an end. The Ticino River is still a place of possible salvation for the defeated French army attacked from behind by the troops in the besieged city, commanded by Antonio de Leyva. The French are trying to escape along with the surviving Swiss soldiers driven to the River Ticino by the Imperial cavalry as well as by the troops from Pavia. In the center (Fig. 9a) French soldiers and civilians can be seen coming out of their shelters and attempting to escape. At the top is a view of the city of Pavia, where we can make out the covered bridge on the right and the Visconti Castle on the left, with the seventeen towers it had at the time all correctly located but accompanied by other buildings and stylistic elements which are fictitious and not typical of the area.

Figura 9a. L'arazzo "Sortita degli assediati e rotta degli Svizzeri che annegano in gran numero nel Ticino".

Figure 9a. The "Sortie of the besieged and rout of the Swiss drowning in large numbers in the River Ticino" tapestry.

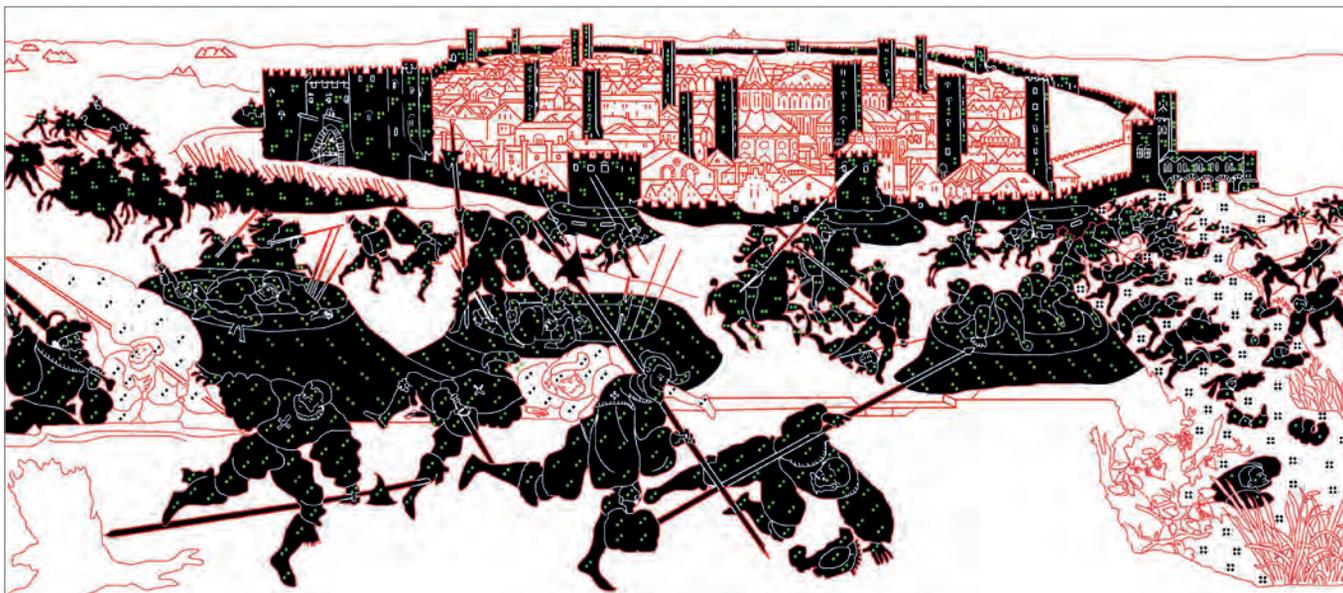


Figura 9b. Rielaborazione dell'arazzo di Fig. 9a. Sono mostrati tutti i livelli (bianco h=0: fondo e contorni interni nelle figure piene; nero h=1: contorni esterni di tutti; nero h=1: contorni interni e caratteri braille nelle figure vuote, e figure piene; verde h=2: caratteri braille nelle figure piene).

Legenda: Sortita dei pavesi; Cavalleria imperiale; Uscita dai rifugi; Svizzeri in fuga e; il Ticino; Svizzeri in Ticino; Pavia: il castello; le torri; le mura della città; il ponte.

Figure 9b. The tapestry shown in Fig. 9a re-elaborated. All levels are shown (white h=0: bottom and inner contours in full figures; red h=1: outer contours of all, black h=1: inner boundaries and Braille in hollow figures, and full figures; green h=2: Braille in full figures).

Legend: Sortie of people from Pavia; Imperial Cavalry; People coming out of shelters; Swiss fleeing and; Ticino river; Swiss in Ticino; Pavia: castle; towers; city walls; bridge.





La Figura 9b rappresenta l'adattamento a versione tattile del contenuto semantico dell'arazzo, mentre la Figura 9c è il prodotto della stampa 3D a colori.

Figure 9b represents the transposition of the tapestry for tactile interpretation, while Figure 9c is the final full color 3D print.

Figura 9c. Stampa 3D a colori della versione tattile dell'arazzo "Sortita degli assediati e rotta degli Svizzeri che annegano in gran numero nel Ticino".

Figure 9c. 3D printing of the tactile version of the tapestry "Sortie of the besieged and rout of the Swiss drowning in large numbers in the River Ticino".

1. URL: <<http://www.openculture.com/2015/03/prado-creates-first-art-exhibition-for-visually-impaired.html>>, consulted November 2, 2015.
2. URL: <<http://www.cityaccessny.org/mac.php>>, consulted November 2, 2015.
3. Nell'elaborazione di immagini con segmentazione si intende il processo di suddivisione delle immagini nelle diverse componenti semantiche come ad esempio oggetti, personaggi, e altri elementi salienti.
In digital imaging, segmentation is the process of dividing the image into different semantic components such as objects, characters, and other major items.
4. Cantoni V., Levaldi S., Zavidovique B., *3C Vision: Cues, Context and Channels*. Elsevier: London, 2011.
5. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Adobe_Photoshop>, consulted November 2, 2015.
6. URL: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Braille>>, consulted November 2, 2015.
7. Adattato da / Adapted from *Gli Arazzi della Battaglia di Pavia*. Milano: Bompiani (1999).

CVML e Expo 2015: interazioni multimediali e multimodali

CVML and Expo 2015: multimedia and multimodal interactions

VIRGINIO CANTONI, MAURO MOSCONI, ALESSANDRA SETTI

Dip. Ingegneria Industriale e dell'Informazione – Università di Pavia

Dept. of Electrical, Computer and Biomedical Engineering – University of Pavia

Introduzione

Lunedì 25 maggio 2015 è stata presentata presso la Cascina Triulza, Padiglione della società civile di Expo Milano 2015 (Fig.1), l'iniziativa pavese “1525-2015. Pavia, la Battaglia, il Futuro. Niente fu come prima” e la relativa mostra è stata poi inaugurata, nei nuovi spazi del Castello Visconteo di Pavia, il 13 giugno 2015 (Fig. 2), arricchita con l'esposizione di uno della celebre serie dei sette arazzi raffiguranti la Battaglia di Pavia (l'ultimo arazzo, “Sortita degli assediati e rotta degli Svizzeri che annegano in gran numero nel Ticino”, con la città di Pavia rappresentata sullo sfondo)¹.

L'esposizione è stata un'occasione importante per la città, rilevante non solo per la natura dell'opera esposta e per il richiamo all'importanza storica della battaglia, ma anche in qualità di evento

Introduction

On Monday, May 25 2015, an Exhibition entitled *Pavia: 1525-2015, the Battle and the Future. Nothing was the same again* was presented at Expo Milano 2015. The initiative, in which various stakeholders from the city of Pavia (Fig. 1) took part, was presented in *Cascina Triulza*, the Expo's Civil Society Pavilion. Subsequently, on June 13 2015, the Exhibition opened to the public in the newly refurbished areas of the Visconti Castle in Pavia (Fig. 2) and included one of the famous series of seven tapestries depicting the Battle of Pavia. The tapestry in question, the last in the series, is known as “Sortie of the besieged and rout of the Swiss drowning in large numbers in the Ticino river”. The city of Pavia is represented in the background².



Figura 1. Lunedì 25 maggio 2015, al Padiglione della società civile di Expo Milano 2015, Virginio Cantoni (foto a sinistra) illustra l’iniziativa pavese in un workshop dedicato; un gruppo di studenti (foto a destra) osserva alcuni dei lavori realizzati.

Figure 1. Monday, May 25 2015, Civil Society Pavilion Expo Milano 2015: Virginio Cantoni (left) explains the initiative during a dedicated workshop and a group of students (right) observes and analyses some of the products they made.

satellite dell’Esposizione Universale di Milano (Expo 2015), in quanto si ricollegava al tema “Nutrire il Pianeta. Energia per la Vita” con la famosa *zuppa alla pavese*, la cui ricetta ebbe origine da un episodio che vide protagonista Francesco I di Francia il quale, fatto prigioniero durante la battaglia di Pavia, fu condotto presso una cascina vicina (Cascina Repentita) per rifocillarsi. La leggenda narra che la contadina, presa alla sprovvista, non trovò di meglio che servire all’illustre ospite una zuppa composta da ciò che aveva al momento disponibile (pane raffermo casereccio, uova, formaggio e brodo), inventando quindi la famosa zuppa. Francesco I, tornato in patria dopo un anno di prigionia, introdusse a corte la zuppa, che ebbe un tale successo da divenire ben presto una celebre pietanza, da quest’anno ufficialmente inserita nell’elenco dei prodotti agroalimentari tradizionali della regione Lombardia.

Il Computer Vision & Multimedia Lab (CVML) del Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell’Informazione dell’Università di Pavia, nel quadro di una collaborazione con il Comune di Pavia, ha partecipato all’allestimento

The Exhibition was a significant event for the city of Pavia both because of the nature of the work on display and because of its recognition of the historical significance of the Battle of Pavia. It was also characterized as a satellite event in the Universal Exhibition in Milan (Expo 2015), linked to the theme “Feeding the Planet. Energy for Life” with the famous *Zuppa Pavese* (Pavia soup), whose recipe originated from an episode involving King Francis I of France, who was taken prisoner during the battle of Pavia and led to a nearby farm (*Cascina Repentita*). Legend says that the peasant who lived there found nothing better to serve to the illustrious guest than some soup made from what she had available at that moment (stale homemade bread, eggs, cheese and broth), thus inventing the famous soup. Back at his court after one year of imprisonment, Francis I placed the soup on his menu. It was so successful that it soon became a famous dish, officially listed in 2015 as a traditional foodstuff from the Lombardy region.

The Computer Vision & Multimedia Lab (CVML) of the Department of Electrical, Com-



Figura 2. L'arazzo della serie del Museo Nazionale di Capodimonte (Napoli) esposto per Expo al Castello Visconteo di Pavia nell'ambito della mostra sulla Battaglia di Pavia. Sullo sfondo, una rappresentazione cinquecentesca della città di Pavia.

Figure 2. The tapestry in the *Museo Nazionale di Capodimonte* (Naples) was presented at the Visconti Castle, Pavia for the Battle of Pavia Expo Exhibition. In the background is a 16th century representation of the city.

della mostra con la **sala didattica ed esperienziale**, basata su prodotti e applicazioni mirate che utilizzavano un approccio multimediale ed interattivo nella fruizione dei contenuti esposti.

Attività didattiche e di ricerca

Le attività didattiche e di ricerca sono state condotte in collaborazione con l'Accademia delle Scienze di Bulgaria (BAS)³, nell'ambito del progetto europeo *Advanced Computing for Innovation*⁴. Sono state presentate ricostruzioni 3D realizzate dagli studenti della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Pavia, sotto la guida di Virginio Cantoni, nell'ambito del corso di Computer Vision. I visitatori sono stati coinvolti attraverso simulazioni virtuali, interazione oculare e gestuale nella navigazione degli arazzi, e trasposizioni in immagini tattili, che ne hanno consentito fruizione ed esplorazione anche da parte di persone ipo- e non vedenti.

puter and Biomedical Engineering of the University of Pavia, which worked with the Municipality of Pavia, helped set up the exhibition enriching the **educational and experiential room** with products and targeted applications that used an interactive, multimedia approach for the visiting public.

Teaching and research activities

Teaching and research activities were carried out in collaboration with the Bulgarian Academy of Sciences (BAS)³, within the European *Advanced Computing for Innovation* project⁴. 3D reconstructions, created by the students of the Faculty of Engineering, under the guidance of Virginio Cantoni, as part of the Computer Vision course they were attending were shown at the exhibition and virtual simulations, eye interaction and gesture navigation captured the visitors' attention, along with transpositions of the tapestries into tactile images, that allowed exploration by partially sighted and blind people. The Exhibition took the form of a multimedia and 3D pathway

La mostra si snodava attraverso un percorso multimediale e tridimensionale che presentava i sei arazzi rimasti a Napoli, accompagnando il visitatore nella sala dell'ultimo arazzo e consentendo infine di testare, nell'ultima sala dedicata alle attività didattiche ed esperienziali, i prodotti e le applicazioni sviluppate in università, che permettevano di "esplorare" con modalità interattive il contenuto degli arazzi, non solo in versione tattile.

Ricostruzioni 3D e simulazioni virtuali

Personaggi, edifici, scene e ambienti rappresentati nella celebre serie dei sette arazzi hanno conquistato la terza dimensione! I modelli 3D realizzati, il più somigliante possibile all'immagine bidimensionale raffigurata negli arazzi, sono stati sviluppati con il software di modellazione 3D e animazione *Cinema 4D Studio R16*⁵, prodotto dalla *MAXON Computer GmbH*. Tale *package* supporta tecniche di modellazione procedurale,

showing the six tapestries in Naples and leading the visitor into the hall where the seventh tapestry, brought to Pavia for the first time, was hanging. The final step in the pathway led visitors to the final room where they could test products and applications, developed as educational and experiential activities by university students and staff, which also allowed visitors to explore the tapestries, including a tactile version, in an interactive way.

3D reconstructions and virtual simulations

Characters, buildings, scenes and environments represented in the famous series of seven tapestries take on a third dimension! The 3D models were part of the final project carried out by students attending the Computer Vision course, whose task was to make a 3D version that was as close as possible to the picture created by the 2D tapestries. The *Cinema 4D Studio R16* 3D mo-



Figura 3. Videata dell'interfaccia software per la creazione del modello 3D di Georg Von Frundsberg (di Carlo Bobba e Alessandro Danani).

Figure 3. Screenshot of the software interface used for the creation of the 3D model of Georg von Frundsberg (undertaken by Carlo Bobba and Alessandro Danani).



poligonale e solida, la creazione e l'applicazione di texture, la gestione dell'illuminazione, l'animazione e il rendering delle scene (Fig. 3).

Cinema 4D è stato usato in combinazione con *Fuse Character Creator*⁶ della ditta *Mixamo*, recentemente acquisita da *Adobe Systems*, che consente la creazione modulare di personaggi 3D. Per la parte di simulazione virtuale, si è utilizzato *Face Plus*⁷, servizio web-based per l'animazione che permette all'utente di registrare dati per l'animazione facciale acquisendoli da una webcam standard e applicandoli in tempo reale ad un personaggio 3D, che ripete i movimenti sfruttando il *game engine Unity3D*⁸.

Per l'esposizione alla mostra, grazie alla collaborazione con l'Accademia delle Scienze di Bulgaria, alcuni modelli 3D realizzati dagli studenti sono stati quindi stampati tramite stampante *ProJet 460Plus full color 3D* (Fig. 4).

Nel corso dell'anno accademico gli studenti hanno inoltre partecipato a un'iniziativa organizzata in collaborazione con *JoinPad* ed *Epson*, un concorso sulla realtà aumentata (AR - *Augmented Reality*), per il quale sono state sviluppate applicazioni per *smart phones* e *smart glasses*. Obiettivo è stata la codifica di un motore di riconoscimento di immagini che, nello specifico,

delling and animation software was used to this end⁵. Produced by the software company *MAXON Computer GmbH*, it was chosen as it supports procedural, polygonal and solid modelling techniques, and, in particular, permits the creation and application of textures, lighting management, animation and rendering of scenes (Fig. 3).

It was used in combination with *Fuse Character Creator*⁶ produced by the *Mixamo* Company, which was recently bought out by *Adobe Systems*. The latter allows modular 3D characters to be created. *Face Plus*⁷ was used for virtual simulations. This is a web-based service for real-time facial animation, which allows users to record data from a standard webcam and apply it in real-time to a 3D character, which repeats movements using the *Unity3D*⁸ game engine.

In collaboration with the Bulgarian Academy of Sciences, some of 3D models the students made were printed out using the *ProJet 460Plus full color 3D* printer (Fig. 4), and were displayed at the exhibition.

During the academic year in question, students also took part in a competition on Augmented Reality (AR) organized in collaboration with *JoinPad* and *Epson*, which included the development of applications for smart phones and

Figura 4. Alcune fasi di lavorazione durante la stampa 3D con la stampante *ProJet 460Plus full color*. **Figure 4.** 3D printing with the *ProJet 460Plus full color* printer.



Figura 5. 15 dicembre 2014, l'AR Contest di Pavia, realizzato nell'ambito del corso di Computer Vision della Laurea Magistrale in Computer Engineering, a.a. 2014/2015. Silvia Carena, PR manager di Epson Italia, premia il vincitore, Nicolò Marchesi, che riceve gli smart glasses Epson Moverio BT-200.

Figure 5. December 15, 2014, the AR Pavia Competition was part of the Computer Vision course in the Master Degree in Computer Engineering, 2014/2015 academic year, University of Pavia. Silvia Carena, PR manager of Epson Italia awards the prize, *Epson Moverio BT-200* smart glasses, to Nicolò Marchesi.

riconoscesse un cubo di carta sulle cui facce erano rappresentate scene tratte dagli arazzi della Battaglia di Pavia. I risultati sono stati presentati dagli studenti, il 15 dicembre 2014, davanti ad una giuria composta da Mauro Rubin, Massimo Pettiti, Aaron Brancotti e Andrea Tullis di JoinPad, Giovanni Menegardo e Silvia Carena di Epson e Giacomo Galazzo, Assessore alla Cultura, Turismo, Expo2015, Legalità, del Comune di Pavia. Il premio consisteva negli smart glasses *Epson Moverio BT-200* ed è risultato vincitore Nicolò Marchesi (Fig. 5)⁹.

La Facoltà di Ingegneria ha aderito al programma CAP (Cinema 4D Academy Program) ottenendo, per un periodo di un anno, versioni Classroom gratuite del software e organizzando un concorso volto a premiare il miglior modello 3D realizzato dagli studenti. I visitatori della mostra hanno potuto esprimere la loro preferenza votando online¹⁰ e i realizzatori del modello vincitore - Carlo Bobba e Alessandro Danani, per la riproduzione di Jean De Diesbach - sono stati premiati (Fig. 6) con una licenza per *C4D Visualize R17*, del valore di 1.700,00 Euro, con-

glasses. The goal was to encode an image recognition engine, which, in particular, could recognize a paper cube whose faces showed scenes from the tapestries of the Battle of Pavia. The results were presented by the students, on December 15 2014, to a jury whose members were Mauro Rubin, Massimo Pettiti, Aaron Brancotti and Andrea Tullis of JoinPad, Giovanni Menegardo and Silvia Carena from Epson and Giacomo Galazzo, a Councillor for the Municipality of Pavia with responsibilities for Culture, Tourism, Expo2015 and Legal Matters. The prize was a pair of *Epson Moverio BT-200* smart glasses. The winner was Nicolò Marchesi (Fig. 5)⁹.

Thanks to the CAP program (Cinema 4D Academy Program) the Faculty had free access, for one year, to Classroom versions of the software. In addition, a competition for the best 3D model was organized in which the students could take part. The Exhibition visitors took part in the online voting¹⁰ and the winners - Carlo Bobba and Alessandro Danani with their 3D reproduction of Jean De Diesbach - received a commercial license worth 1,700.00 Euros, for the



Figura 6. A sinistra: stampa 3D del modello di Jean De Diesbach realizzato da Carlo Bobba e Alessandro Danani. A destra: cerimonia di premiazione (da sinistra, Giacomo Galazzo - Comune di Pavia, Susanna Zatti - Musei Civici di Pavia, Carlo Bobba, Alessandro Danani, Virginio Cantoni).

Figure 6. Left: object produced with 3D printing of the model of Jean De Diesbach, made by Carlo Bobba and Alessandro Danani. Right: the awards ceremony (from the left, Giacomo Galazzo - Pavia Municipality, Susanna Zatti - Musei Civici di Pavia, Carlo Bobba, Alessandro Danani, Virginio Cantoni).

cessa dalla ditta *GRMstudio*, uno dei distributori italiani del software¹¹.

Gli studenti, suddivisi in gruppi, hanno realizzato in tutto una ventina di modelli, comprendenti armi (cannone, spada, lancia, archibugio), una selezione di personaggi (Carlo III di Borbone, Carlo di Lannoy, Duca d'Alençon, Ferrante Castriotta, Francesco I, Francesco Fernando d'Avalos, Georg von Frundsberg, Gran Signore, Jean Batard, Jean de Diesbach, Guillaume Gouffier de Bonnivet, La Motte de Noyers, signora in rosso, stalliere), scene (cattura del re, combattimenti, soldati e civili che escono dai rifugi) e una riproduzione della città di Pavia dell'epoca (Fig. 7).

Avatar

Per catturare l'attenzione dei visitatori è stata allestita una postazione dedicata alla simulazione virtuale, che replicava i movimenti del viso (in particolare occhi e bocca) e della testa dell'utente, applicandoli al viso e alla testa di uno dei modelli 3D realizzati dagli studenti (Fig. 8). L'applicazione è stata sviluppata tramite il servizio web-based

C4D Visualize R17 software as their prize (Fig. 6). The prize was given by *GRMstudio*, one of the Italian distributors of this software¹¹.

The students, divided into groups, made around a dozen models, including weapons (cannons, swords, lances, arquebuses), a selection of characters (Charles III of Bourbon, Charles de Lannoy, Duke of Alençon, Ferrante Castriotta, Francesco I, Fernando Francesco d'Avalos, Georg von Frundsberg, The Great Lord, Jean Batard, Jean de Diesbach, Gouffier Guillaume de Bonnivet, La Motte de Noyers, the lady in red, stableman), some of them on horseback, scenes (the capturing of the King, fighting, soldiers and civilians emerging from shelters) and a reproduction of the city of Pavia depicted in the background of the seventh tapestry, the one on display in the exhibition (Fig. 7).

Avatar

To engage the visitors' attention a workstation produced a virtual simulation, replicating facial movements (eyes and mouth especially) and the

e la tecnologia di ripresa e animazione facciale di Face Plus.

user's head, applying them to the face and head of a selected 3D model, acting as a sort of *avatar* (Fig. 8). The application was developed using the web service and the Face Plus facial capture and animation technology.

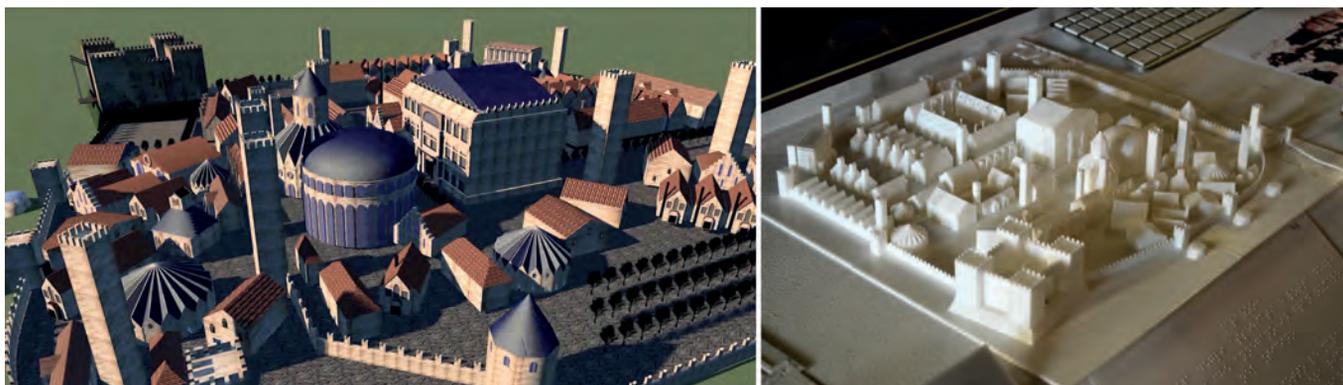


Figura 7. Videata *rendering* e stampa 3D della ricostruzione della città di Pavia dell'epoca. Il ponte coperto, il Castello Visconteo e le torri sono raffigurati secondo un impianto in parte reale, ma che presenta, come gli altri edifici ripresi nella veduta, elementi stilistici immaginari e fantasiosi.

Figure 7. A snapshot of the program's rendering and 3D printing of the city of Pavia as shown in the top part of one of the tapestries. The covered bridge, the Visconti Castle and the city's towers are depicted partly as they really are but also, like the other buildings, within an imaginary and stylized representation.



Figura 8. Avatar: espressioni e movimenti del volto e della testa del visitatore vengono replicati specularmente in tempo reale.

Figure 8. Avatar: facial and head expressions and movements are replicated specularly in real time.

Interazione oculare e gestuale

Altre due applicazioni realizzate in università hanno proposto una “lettura” di tipo interattivo degli arazzi, consentendo ai visitatori di osservarli e analizzarli interagendo con il computer tramite un *eye-tracker*, che sfrutta l’interazione oculare, e tramite la *Kinect*, che si basa su quella gestuale.

Sono state allestite tre postazioni con eye-tracker e una con Kinect. Nel caso dell’eye-tracker si sono raccolti, in forma anonima, i dati delle sessioni di navigazione, in modo da renderli utilizzabili per ricerche sui percorsi di esplorazione di un’opera d’arte (Dove va il nostro occhio? Dove si sofferma e quanto a lungo? Ci sono dei comportamenti visivi legati, ad esempio, ad età e genere?).



Eye-tracking

Per la mostra sulla Battaglia di Pavia si è deciso di utilizzare l’*ET100 - The Eye Tribe Tracker*¹², una delle soluzioni più economiche disponibili.

Gaze and gesture interaction

Two other applications developed in the university addressed the issue of interactive viewings of the tapestries. They allowed visitors to observe and interpret them using gaze and gesture interaction thanks to an *eye-tracker* (gaze) and a *Kinect* sensor (gesture).

Three computers with eye-trackers and one with Kinect were available. Data from the eye-tracker viewing sessions was collected anonymously for subsequent use in research into the exploratory pathways that visitors use when viewing works of art: where does our gaze shift to? On what do our eyes dwell and for how long? Are viewing patterns related to age or gender, for example?

Figura 9. Esempio di videata con comandi a interazione oculare. L’utente può selezionare con lo sguardo quattro opzioni: ingrandire o rimpicciolire l’immagine, selezionare un altro arazzo o chiudere la sessione.

Figure 9. Screenshot showing some gaze interaction commands. Four options can be selected. Users can zoom in or zoom out on the image, select another tapestry or close the session.

Eye-tracking

The *ET100 - The Eye Tribe Tracker*¹², one of the cheapest devices available in the sector, was chosen for the exhibition. With the application

L'applicazione sviluppata appositamente per la mostra consentiva agli utenti/visitatori di esplorare gli arazzi utilizzando unicamente lo sguardo (senza quindi l'uso di mouse o tastiera): era possibile effettuare ingrandimenti e operazioni di *scrolling*, nonché visualizzare informazioni relative a specifici soggetti dell'arazzo quando venivano osservati (tramite attivazione di specifiche aree sensibili che si attivavano quando fissate dall'utente) (Fig. 9). La lista dei comandi disponibili veniva spiegata in una breve fase di training iniziale, che seguiva la necessaria fase di calibrazione dello strumento.

Al termine dell'esplorazione oculare il visitatore poteva rivedere il proprio *gaze replay*, un filmato che mostrava "che cosa aveva guardato" come sequenza di fissazioni, indicanti le aree degli arazzi su cui l'occhio si era soffermato. Inoltre un sito web dedicato consentiva di scaricare i propri *gazeplot*, mostrando le immagini contenenti tutte le fissazioni rilevate dall'eye tracker. In fase di download, l'utente era invitato a rilasciare informazioni aggiuntive di tipo generico (età, sesso e grado d'istruzione), utili ad integrare i dati raccolti per studi futuri.

Kinect

Si è utilizzato il sensore *Microsoft Kinect*¹³, che interpreta il movimento del corpo umano in tempo reale e consente all'utente di controllare il sistema con semplici gesti, senza la necessità di indossare o impugnare accessori aggiuntivi (Fig. 10). La parola *Kinect* nasce infatti dalla fusione di due termini: *kinetic* (cinetico, relativo al movimento) e *connect* (collegarsi), intendendo appunto la capacità di collegarsi al computer e impartire comandi tramite movimenti.

Il Kinect è dotato di telecamera RGB (per registrare ciò che accade nella stanza) e due sensori di profondità tridimensionali a raggi infrarossi che mappano l'ambiente circostante (un proiet-

developed for the *Battle of Pavia Exhibition* visitors explored the tapestries using only their eyes (no mouse or keyboard): they made enlargements and carried out scrolling operations, and could view information on specific aspects of the tapestries as they looked at them (specific sensitive areas were activated by the user's gaze) (Fig. 9). An initial short training phase introduced the list of available commands, followed by a calibration phase.

At the end of the eye-exploration, visitors could review their *gaze replay*, a movie that showed "what they looked at" as a sequence of fixations, showing the areas of the tapestry on which their eyes had focused. In addition, from a dedicated website, the visitors could also download their *gazeplot*, i.e. images containing all the fixations detected by the eye tracker. During the download phase, the user was encouraged to provide anonymous generic additional information (age, sex and education), that could be useful in subsequent studies.

Kinect

*Microsoft's Kinect*¹³ sensor was used, which interprets the movement of the human body in real time allowing the user to control the system with simple gestures, without the need to wear or hold additional accessories (Fig. 10). The word Kinect was indeed inspired by the fusion of two words: *kinetic* (related to movement) and *connect*, meaning the ability to connect to the computer and give commands through movements.

Kinect has an RGB camera (recording what was happening in the room) and two three-dimensional depth infrared sensors that map the surroundings (a projector and a receiver: rays from the projector bounce on the user body and are reflected back to Kinect, enabling the system to figure out where users are located and how they move). Kinect also has a voice recognition

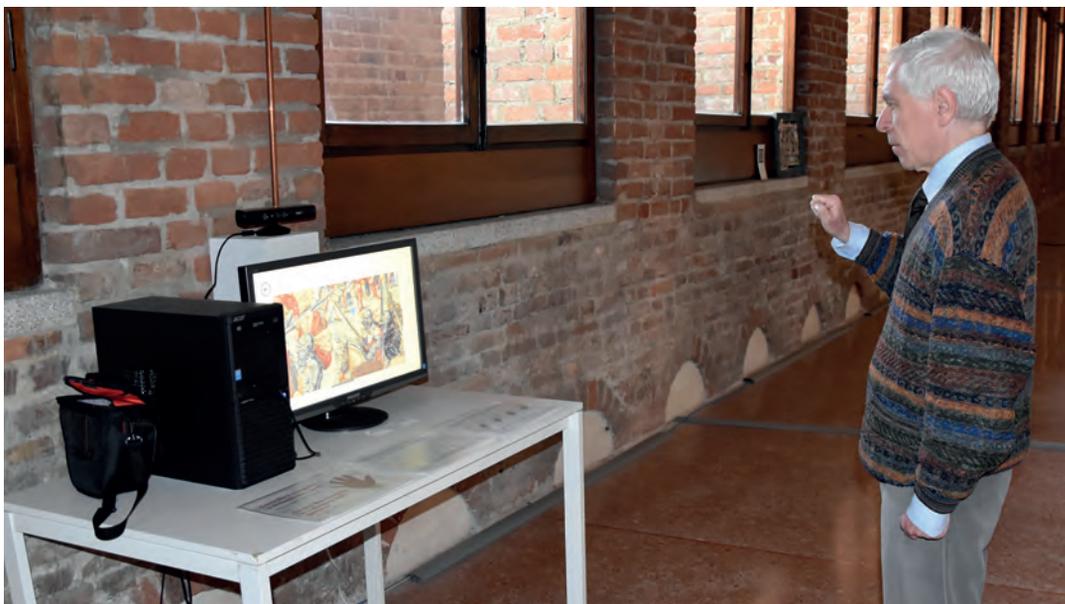


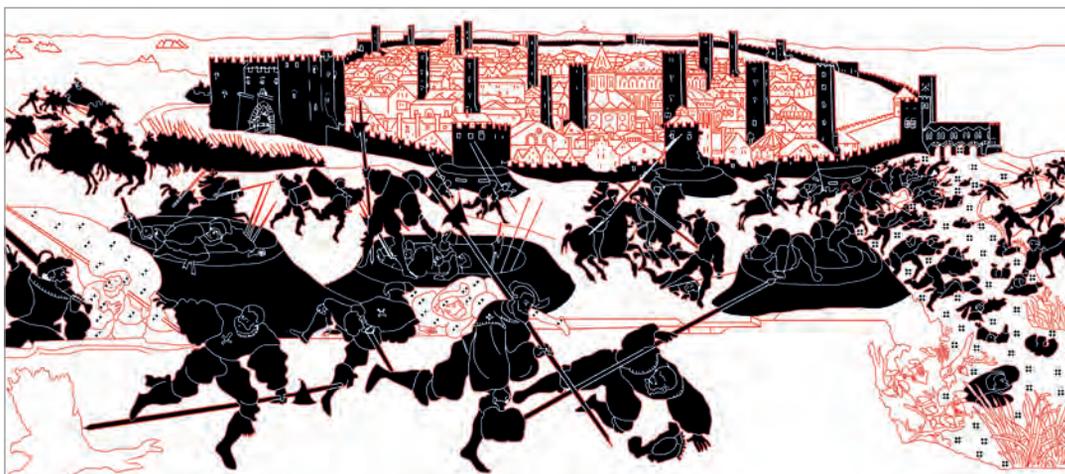
Figura 10. Esempio di interazione gestuale.
Figure 10. Example of gesture-based interaction.

tore e un ricevitore: i raggi emessi dal proiettore rimbalzano sul corpo degli utenti e vengono riflessi nuovamente verso il Kinect, consentendo al sistema di capire dove si trovano gli utenti e in che modo si muovono). Dispone inoltre di un dispositivo di riconoscimento vocale. Il software ha il compito di analizzare le immagini e i dati ricevuti dai sensori per identificare gli utenti, distinguere le varie parti del corpo e consentire gli abbinamenti tra movimenti e operazioni da compiere.

L'applicazione sviluppata per la mostra consentiva, tramite gesti della mano interpretati dal Kinect, di selezionare un arazzo, tra la serie dei sette proposti, o la mappa del parco nel quale la battaglia ha avuto luogo e di spostare la visualizzazione su singoli dettagli. Veniva inoltre gestito il riconoscimento della presenza di più persone davanti al sensore e il conseguente passaggio del controllo tra gli utenti (uno solo alla volta poteva essere attivo).

device. The task of the software is to analyze images and data received from the sensors allowing it to identify users, distinguish the different parts of the body and allow combinations of movements and commands to be made.

The application developed for the exhibition made it possible, through simple gesture interactions interpreted by Kinect, to select one of the seven tapestries or the map of the park where the battle took place and to view specific details. The application also handled the recognition of the presence of several people in front of the sensor and the subsequent transfer of control between users (only one could be active at any one time).



Immagini tattili

Nell'ambito della mostra viene proposta la lettura tattile dell'opera d'arte¹⁴, sperimentando la trasposizione delle informazioni principali che gli arazzi raffigurano in una versione accessibile anche a visitatori ipo- e non vedenti, con l'obiettivo di consentire di "vedere con le mani". Questo obiettivo non è nuovo; a titolo di esempio, tra le varie tecniche di realizzazione pratica, si citano la *gaufrage* (detta anche stampa a rilievo o rilievovografia, che imprime una figura sporgente sulla superficie della carta, pressandola tra due matrici, una a sbalzo e una incava), la termoformatura (tramite fogli di plastica resi duttili tramite il calore e un calco appositamente preparato), il disegno puntinato (puntini in rilievo evidenziano il contorno delle figure), la carta a microcapsule o sistema *Minolta* (attraverso il calore prodotto dai raggi infrarossi di un apposito fornello si rialzano alcune parti di una carta speciale dotata di cellule termosensibili), la serigrafia e la termografia (tramite un apposito telaio si imprime chimicamente il disegno su un tessuto, posizionando inchiostro o polveri che possono risultare a rilievo), il collage

Tactile images

Tactile reading of a work of art was a significant part of the Exhibition¹⁴, which experimented with a version that transposed the main information that the tapestries depict into a tactile form accessible to partially sighted and blind visitors, a sort of fingertip observation. This nothing new. Various practical examples of techniques used to this end include; *gaufrage*, also known as relief printing or embossing, which imprints a shape protruding from the paper surface, pressing it between two matrices, one a cantilever and the other a hollowed out surface); thermoforming (plastic sheets that become ductile through heat and a specially prepared mold); embossed drawings (raised dots that show the outline of the figures); *Minolta* paper or microcapsule systems (using heat produced by a special infrared oven applied to parts of special paper containing heat-sensitive cells which become raised); screen printing and thermography (using a special frame whose design is chemically embossed on a fabric and applying ink or dust that remains in relief); collage using different materials glued directly

Figura 11. Esempio di adattamento di un arazzo della Battaglia di Pavia per la versione tattile e la successiva stampa 3D: "Sortita degli assediati e rotta degli Svizzeri che annegano in gran numero nel Ticino". Le scene in primo piano hanno come sfondo la città di Pavia, con l'imponente castello visconteo a sinistra e il ponte coperto a destra, mentre il Ticino snoda il suo corso sulla destra e i soldati francesi cercano l'ultima salvezza nel fiume.

Figure 11. An example of tactile version of a tapestry of the Battle of Pavia suitable for 3D printing: "Sortie of the besieged and rout of the Swiss drowning in large numbers in the River Ticino". The scenes in close-up show the city of Pavia in the background, with the striking Visconti castle on the left and the covered bridge to the right, while the Ticino runs to the right and the French soldiers, who are trying to escape, see the river as their last resort.

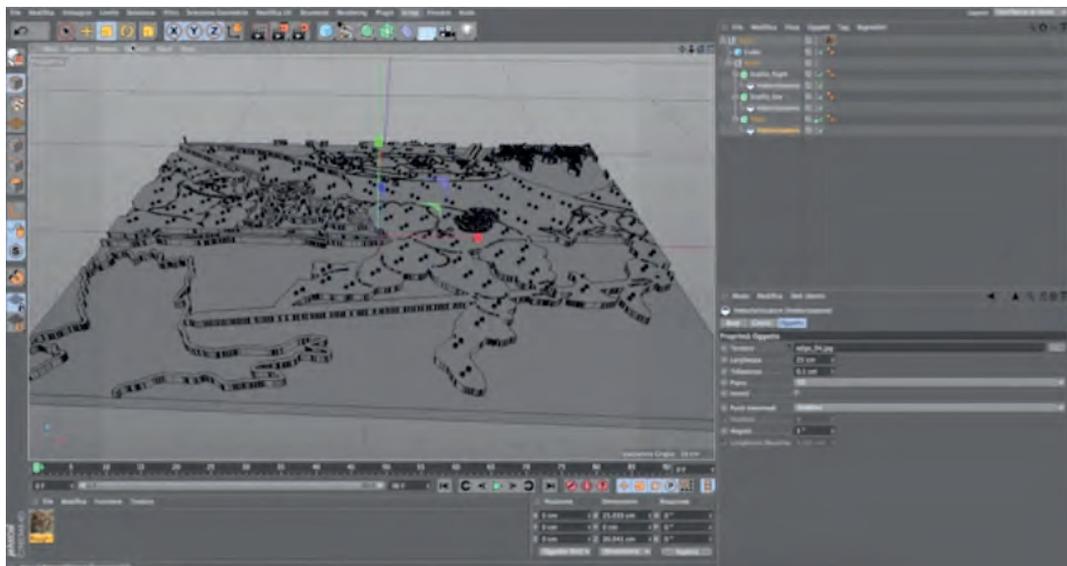


Figura 12. Creazione in *Cinema 4D* di una versione tattile a tre livelli di un arazzo della Battaglia di Pavia per successiva stampa 3D: “Sortita degli assediati e rotta degli Svizzeri che annegano in gran numero nel Ticino”, particolare in basso a sinistra.

Figure 12. *Cinema 4D* creation of a three-tier tactile version of a tapestry of the Battle of Pavia for subsequent 3D printing: “Sortie of the besieged and rout of the Swiss drowning in large numbers in the River Ticino”, bottom-left block.

con utilizzo di diversi materiali (incollati direttamente sulla superficie della pagina)¹⁵.

La soluzione adottata per la mostra di Pavia, basata sulla stampa 3D di modelli appositamente realizzati, è stata sviluppata ad hoc per gli arazzi monumentali del Museo Nazionale di Capodimonte che rappresentano scene di battaglia molto complesse. Le immagini degli arazzi sono state digitalizzate, rielaborate, adattate (Fig. 11), ricostruite come modelli tridimensionali (Fig. 12) ed infine stampate in 3D per poter essere lette con la punta delle dita.

Si sono sperimentate più soluzioni di stampa 3D (Fig. 16), con materiali diversi e in versione monocromatica e a colori (per agevolare la lettura da parte di non vedenti e/o ipovedenti). Le stampe 3D esposte al pubblico consentivano una lettura multisensoriale degli arazzi, presentando elementi interpretabili e condivisibili sia da vedenti che da non vedenti. In figura 17 a confronto la resa 3D di un personaggio e la sua versione tattile-Braille. La riproduzione diretta 3D si è

onto the surface of a page¹⁵. The solution implemented for the exhibition in Pavia was based on specifically made 3D printing of models, developed for the tapestries of the *Museo Nazionale di Capodimonte*, depicting really complicated battle scenes. The images of the tapestries were digitized, modified, adapted (Fig. 11), reconstructed as three-dimensional models (Fig. 12) and finally printed in 3D to be read by means of fingertips.

Several different 3D printing solutions (Fig. 13) were tested out, with different materials and in monochrome and color versions (for easy reading by the visually impaired). The 3D printed models, displayed to the public, allowed a multi-sensorial reading of the tapestries, showing elements that can be interpreted and shared by both sighted and blind people. Fig. 14 highlights the difference between the 3D version of a specific character and the tactile-Braille versions. The direct 3D reproduction was particularly effective for blind people for the reproduction of the city of Pavia, where the tapestry elements (castle,

rivelata particolarmente efficace per non vedenti nella rappresentazione della città di Pavia, nella quale i componenti dell'arazzo (castello, torri, ponte, mura, ecc.), geo-distribuiti, consentivano una più immediata identificazione e interpretazione.

La dimensione complessiva di ogni arazzo tattile a colori è di 40x75 cm, ottenuta utilizzando sei "mattonelle" di 20x25 cm (massima area di lavoro della stampante utilizzata) disposte a formare una matrice di due righe e tre colonne. Una striscia nella parte superiore (di circa 5,7 cm di altezza e 75 cm di larghezza, considerando le tre mattonelle della prima riga) contiene il titolo e la legenda, in lettere e Braille sovrapposto alle



Figura 13. Alcuni esempi di versioni tattili degli arazzi, stampati in 3D con materiali diversi, in versione monocromatica e a colori (per ipovedenti).

Figure 13. Some examples of tactile versions of the tapestries, printed in 3D with different materials, in monochrome and color versions (for the visually impaired).



Figura 14. Esempio di versione tattile di un arazzo con sfondo a colori per ipovedenti e, in primo piano, ricostruzione 3D di uno dei personaggi.

Figure 14. Example of a tactile version of a tapestry with color background for visually impaired people and, in front, the 3D reconstruction of one of the characters.

towers, bridge, walls, etc.), geo-distributed in the printed model, made more immediate identification and interpretation possible.

The overall size of each color tactile tapestry is 40x75 cm, consisting of six 20x25 cm "tiles" (the maximum work area with 3D printer used) arranged to form a matrix of two rows and three columns. A strip at the top (about 5.7 cm high and 75 cm wide, considering the three tiles in the first row) shows the title and the legend in letters and superimposed Braille. Each tactile version is also associated with two A4 sheets with Braille text, summarizing content, figures and scenes of the tapestry. Collaboration with Dr. Nicola Stilla, President of the Italian Union of the Blind and Partially Sighted (UIC) of Lombardy, was essential to this end.

The seven tactile tapestries and their descriptions are placed on a table about 7 meters in length (Fig. 15), set against a giant poster of the park (Fig. 16) locating key events, represented in the

lettere. Ogni versione tattile è stata inoltre affiancata da due fogli A4 con testo Braille, che sommarariamente descrive contenuto, figure e scene dell'arazzo. Preziosissima è stata la collaborazione con il Dott. Nicola Stilla, Presidente dell'Unione Italiana dei Ciechi e degli Ipovedenti (UIC) della Lombardia.

I sette arazzi tattili e le relative descrizioni sono stati posizionati su un unico tavolo di circa 7 metri di lunghezza (Fig. 15), che aveva come sfondo una gigantografia (7x2,5 m) del parco (Fig. 16) dove ha avuto luogo la battaglia e dove sono stati localizzati gli eventi chiave rappresentati nei diversi arazzi. Segue una mappa delle stanze allestite per la mostra (Fig. 17).

seven tapestries, where the battle took place. A map of the exhibition rooms is shown (Fig. 17).



Figura 15. Un ripiano inclinato presenta le versioni tattili degli arazzi, affiancate da un testo in Braille che descrive le scene. Sul ripiano orizzontale, alcune ricostruzioni 3D di personaggi e armi. Sullo sfondo, il monitor propone i filmati realizzati a descrizione delle attività svolte.

Figure 12. An inclined surface shows the tactile versions of the tapestries, accompanied by a text in Braille describing the scenes. On the shelf, some 3D reconstructions of characters and weapons. In the background, a monitor showing the movies describing the activities realized.



Figura 16. Gigantografia della zona nella quale ebbero luogo gli eventi rappresentati nella famosa serie dei sette arazzi.

Nella mappa (sopra) sono localizzate le scene salienti e riportati i relativi modelli 3D. Rielaborazione di una stampa del 1981 di E. Ferri.

Figure 16. Blow-up of the area in which the scenes depicted in the famous series of the seven tapestries took place. The key events are located in the map (top); the rendering of their respective 3D models is also shown. Re-elaborated from a printing dated 1981 made by E. Ferri.

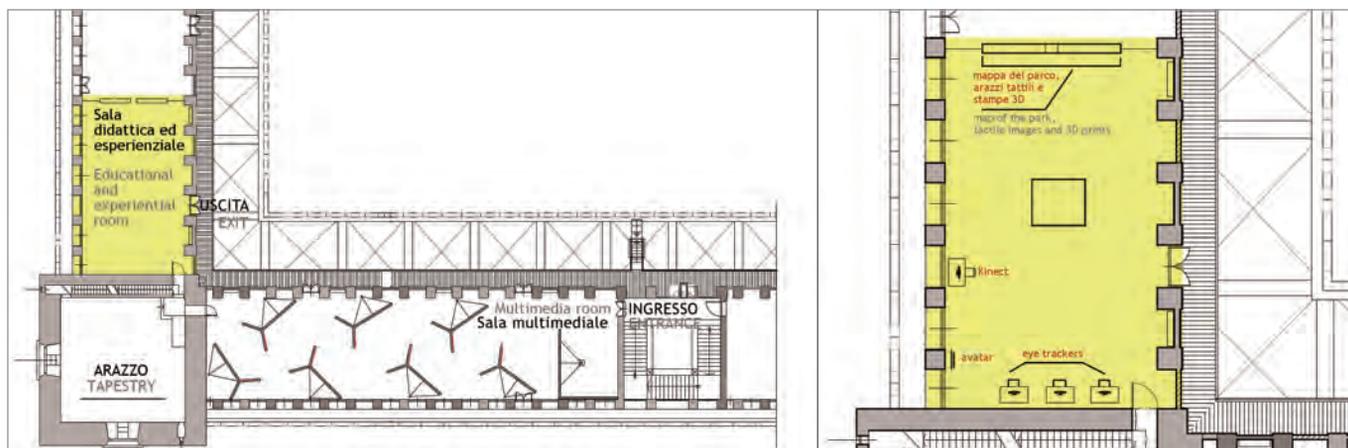


Tavola *multi-touch*

Il Comune di Pavia ha inoltre predisposto una superficie *multi-touch* che consentiva ai visitatori di recuperare, in modalità interattiva e su richiesta del visitatore, informazioni significative (storie, video e foto sul tema della battaglia di Pavia). Recentemente, si è rilevata una proliferazione di tavoli *multi-touch* per accedere a contenuti multimediali, in grado di offrire una forma di esplorazione aperta e non predeterminata.

Multi-touch table

The Municipality of Pavia also organized a *multi-touch* surface allowing visitors to interactively access relevant information (stories, videos and photos on the theme of the Battle of Pavia). Recently, there has been a proliferation of *multi-touch* tables for access to multimedia content, providing a form of open, unplanned exploration.

Figura 17. Mappa dei locali del castello adibiti a mostra. A sinistra: le tre sale. A destra: particolare della sala didattica ed esperienziale.

Figure 17. Map of the castle exhibition rooms. Left: the three rooms. Right: the educational and experiential room.



Figura 18. Visitatori nella sala didattica ed esperienziale.

Figure 18. Visitors in the educational and experiential room.

Accompagnamento musicale

Nella sala (Fig. 18) che ospita le versioni tattili degli arazzi, come accompagnamento musicale, si è proposta una raccolta di musiche rinascimentali, “La figurazione delle cose invisibili: la musica a Milano ai tempi di Leonardo da Vinci”, curata da Massimo Lonardi dell’Istituto Superiore di Studi Musicali “Franco Vittadini” di Pavia, soprano: Renata Fusco, liuto: Massimo Lonardi – comprendente i *Rebus musicali* di Leonardo (Fig. 19). Come ricorda il curatore della raccolta: «[...] in almeno diciotto rebus Leonardo utilizzò la notazione musicale combinandola con sillabe, parole o frammenti di parole in modo da formare, sfruttando i nomi delle note, motti o piccole frasi. Tre di questi rebus musicali formano melodie che sono state riunite in un’elaborazione contrappuntistica per canto e liuto e sono incluse nella registrazione proposta». Leonardo mostrava come la musica riesca a convogliare significati anche senza il bisogno del senso della vista: ci è sembrato quindi appropriato abbinare questo accompagnamento musicale al nostro tentativo di comunicare in modo non visivo, attraverso input tattile e codifica Braille, ciò che originariamente era stato descritto in modo pittorico.



Musical accompaniment

The room where the tactile versions of the tapestries were shown (Fig. 18) also contained a collection of Renaissance music, selected as a musical accompaniment, “The representation of invisible things: music in Milan at the time of Leonardo da Vinci”, edited by Prof. Massimo Lonardi from the Istituto Superiore di Studi Musicali “Franco Vittadini” in Pavia, soprano: Renata Fusco, lute: Massimo Lonardi – including Leonardo’s Musical games (Fig. 19). As the editor writes: «[...] in at least eighteen rebus Leonardo used musical notation combined with syllables, words or fragments of words to form, using the sol-fa system of notes, mottos or short phrases. Three of these musical games form short melodies which have been united and reworked into a contrapuntal composition for voice and lute and [...] been included in the proposed recording.» Leonardo highlighted how music manages to convey meaning even without the need for the sense of sight: it seemed therefore appropriate to choose this musical accompaniment for our attempt to communicate in a non-visual way, through touch input and Braille encoding, what was originally described in a pictorial way.

Figura 19. Rebus musicale di Leonardo da Vinci (le parti, in grassetto nel testo, sono riportate come note musicali nel manoscritto). Da “La figurazione delle cose invisibili: la musica a Milano ai tempi di Leonardo da Vinci”.

Figure 19. Musical games by Leonardo da Vinci (the parts, in bold in the text, are musical notes in F key in the manuscript). From “The Representation of invisible things: music in Milan at the time of Leonardo da Vinci”.

1. URL: <<http://vision.unipv.it/events/expo2015/>>, consultato il 2 novembre 2015, per accedere a foto e filmati.
2. URL: <<http://vision.unipv.it/events/expo2015/index-Eng.html>>, consulted November 2, 2015, for pictures and movies.
3. Bulgarian Academy of Sciences (BAS), URL: <<http://www.bas.bg/bulgarian-academy-of-science>>.
4. *ACoMIn, FP7 Capacity Programme, Research Potential of Convergence Regions, Host organisation: Institute of Information and Communication Technologies (IICT) - BAS*, URL: <<http://iict.bas.bg/acomin/>>, consulted November 2, 2015,
5. URL: <<http://www.maxon.net/products/cinema-4d-studio/who-should-use-it.html>>, consulted November 2, 2015.
6. URL: <<https://www.mixamo.com/fuse>>, consulted November 2, 2015.
7. *Real-time facial animation with just a web cam*. URL: <<https://www.mixamo.com/faceplus>>, consulted November 2, 2015. «Face Plus Preview is the world's first facial capture and animation technology delivered directly inside a 3D game engine. [...] With Face Plus Preview, all you need [to do] is sit down in front of a webcam, act out the expressions you want to apply to your 3D character, and watch it happen in real time within your game engine.».
8. URL: <<http://unity3d.com/>>, consulted November 2, 2015.
9. Foto e descrizione evento / Pictures and description of the event in URL: <<http://vision.unipv.it/events/AR-contest.html>>, consulted November 2, 2015.
10. Votazione on-line del migliore modello 3D / Online voting for the best 3D model: URL: <<http://vision.unipv.it/events/expo2015/form-voting-system.html>>, consulted November 2, 2015.
11. URL: <http://www.grmstudio.it/CINEMA%204D/EDU/Gallery/Universita_Pavia.html>, consulted November 2, 2015.
12. *ET100 - The Eye Tribe Tracker*, URL: <<https://theyetribe.com>>, consulted November 2, 2015.
13. URL: <<https://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>>, consulted November 2, 2015.
14. *L'arte a portata di mano. Verso una pedagogia di accesso ai Beni Culturali senza barriere*, a cura di Museo Tattile Statale Omero. Roma: Armando Editore (2006).
The art at hand. Towards a pedagogy of access to cultural heritage without barriers, by the State Tactile Museum Omero, Armando Editore, Rome, 2006.
15. Vecchiarelli P.: *Caratteristiche tecniche e produzione di un libro tattile illustrato*, Roma: Centro di Produzione del Materiale didattico della Federazione Nazionale delle Istituzioni pro Ciechi di Roma.
Vecchiarelli P.: *Technical characteristics and production of a tactile illustrated book*, Rome: Production Center of Learning Materials of the National Federation of Institutions for Blind people of Rome.

Conclusioni

Conclusions

VIRGINIO CANTONI, LUCA LOMBARDI, MARCO PORTA, ALESSANDRA SETTI

Dip. Ingegneria Industriale e dell'Informazione – Università di Pavia

Dept. of Electrical, Computer and Biomedical Engineering – University of Pavia

Impatto delle nuove tecnologie sulle mostre: feedback dei visitatori

Lo scopo è quello di misurare il valore delle opportunità fornite dai media digitali nell'allestimento di musei, gallerie e mostre, al fine di sviluppare strategie, processi e tecnologie per massimizzarne i benefici sia per gli organizzatori che per i visitatori. Un approccio strutturato è stato implementato presso il Metropolitan Museum of Art, in cui la strategia completa si concentra su tre fasi di interazione: i) prima della visita, presentando il contenuto della mostra on-line; ii) durante la visita, sviluppando soluzioni per arricchire l'esperienza del visitatore; iii) dopo la visita, utilizzando i dati generati dai visitatori per sintonizzare piani e aspettative ed assicurare ricordi positivi¹.

Musei e mostre stanno sempre più sfruttando le tecnologie emergenti, come le *NUIs* (*Natural User Interfaces*). Tuttavia, l'enfasi su questi strumenti digitali spesso prevale sulla valutazione dell'impatto delle tecnologie impiegate. Tale valutazione dovrebbe avvenire prima e dopo l'implementazione, al fine di stabilire un quadro di riferimento per misurare l'impatto e per convalidare se i dispositivi e gli strumenti adottati sono o non sono stati adatti alla missione e agli obiettivi della mostra. Inoltre, se i musei condividessero

Impact of new technologies in exhibitions: issues and visitors' feedback

Our goal has been to measure the value of digital media opportunities in exhibitions, in order to develop strategies, processes, and technologies that maximize their benefits for exhibitions and visitors. A structured approach has been followed at the Metropolitan Museum of Art, in which the full strategy focuses on three phases of interaction: i) before the visit, by presenting the exhibition content online; ii) during the visit, by developing solutions to enrich the visitor's experience; iii) after the visit, by using visitor-generated data to tune plans and expectations and to assure positive recollections by visitors¹.

Museums and exhibitions are increasingly leveraging emerging technologies, such as *NUIs* (*Natural User Interfaces*). However, the emphasis on these digital tools has often prevailed over the assessment of their impact. This evaluation should occur before and after technologies are implemented, in order to establish a framework measuring the impact and assessing whether the devices and tools adopted are suited to the exhibition's mission and goals. Finally, if museums share the results with other institutions, future risk factors will be reduced. It is important for museums

i risultati con altre istituzioni, in futuro il fattore di rischio si ridurrebbe per tutti. Per i musei è importante anticipare lo sviluppo di punti di riferimento per l'implementazione delle nuove tecnologie al fine di evitare retro-adattamenti delle soluzioni in fase di post-implementazione, sempre molto più onerosa.

Sessioni di test e di valutazione si sono finora verificati in molti musei e gallerie. Alcune di queste sessioni hanno avuto come obiettivo quello di migliorare la nostra comprensione di specifici componenti del sistema. Un elenco di linee guida generali consigliate per le valutazioni del programma, per la progettazione della pianificazione di utilizzo degli strumenti, e per i metodi di valutazione, è già esistente^{1,2}. Quando sempre più visitatori acquisiranno familiarità con l'uso di questi strumenti e metodi, si potrà effettivamente valutare l'impatto delle esperienze interattive che sono state adottate. Strategie adattative modellate dall'interesse e dalla curiosità dei visitatori possono essere utilizzate per personalizzare un processo interattivo e per promuovere un'emozionale e memorabile esperienza positiva del visitatore nel contesto del patrimonio culturale.

Crowdsourcing

L'impiego di approcci di apprendimento basati su esperienza e scoperta sono in costante aumento³ presso musei e mostre, avendo come obiettivo anche percorsi alternativi e non tradizionali⁴. Tuttavia, la strategia partecipativa comporta approcci innovativi in un territorio sperimentale⁵. Pertanto, è importante essere in grado di valutare successi e fallimenti, perché, nonostante molti esperimenti, il rischio che il visitatore medio si perda per l'abbondanza di informazioni e l'alto impiego di nuove tecnologie resta ancora alto. Alcuni studi hanno rivelato che le modalità di progettazione di tali esposizioni e le condizioni realizzative han-

to develop benchmarks before deploying new technologies to avoid retro-fitting a solution in a post-implementation phase.

Test and evaluation sessions have so far taken place in museums and galleries. The goal of these sessions was to advance our understanding about specific system components. A list of recommended general guidelines for program evaluations, project planning tools, and evaluation methods already exists^{1,2}. As more and more visitors become acquainted with the use of these tools and methods, we may effectively assess the impact of the interactive experiences that have been created so far. Adaptive strategies shaped by visitors' interests and curiosities can be used to customize an interactive process and to promote a positive emotional and memorable visitor experience in the Cultural Heritage context.

Crowdsourcing

Discovery-based learning in museums and exhibitions is steadily increasing³ even targeting alternative and non-traditional tours⁴. However, participatory strategies involve innovative approaches in what is experimental territory⁵. Hence the significance of being able to evaluate success and failure; despite many experiments, the risk that the average visitor will get lost owing to information and technology overload still remains high. Some studies have revealed that the design properties of exhibitions and their realization conditions have a significant impact on success or failure rates.

no un impatto significativo sui tassi di successo o fallimento.

Il *crowdsourcing*, un termine coniato nel 2005, è stato definito (Merriam-Webster) come il processo di ottenimento dei necessari servizi, idee o contenuti, sollecitando contributi da un folto gruppo di persone, in particolare per decidere attraverso conclusioni validate sui modelli di implementazione. Spinto da tali questioni pratiche e dalle tendenze generali della società, il crowdsourcing sembra destinato a diventare un flusso di lavoro necessario per le istituzioni che si occupano del patrimonio culturale⁶. Tuttavia, nonostante la diffusa prevalenza di progetti di crowdsourcing nel settore dei beni culturali, finora non tutte le iniziative sono state pienamente di successo. Molti non sono riusciti a reclutare un numero sufficiente di partecipanti o le persone con le competenze necessarie per realizzare con efficacia l'attività desiderata.

Cosa può decidere il successo o il fallimento di un progetto espositivo? È possibile organizzare modelli in grado di gestire la progettazione in modo più efficace⁷? Attributi specifici per il successo di un progetto sono: i) le dimensioni dell'istituzione, e in particolare la sua familiarità con progetti che implicano strumenti digitali e multimediali; ii) il tipo di collezione e la conseguente correlazione tra contenuto e tipo di persone che il progetto può attirare; iii) la complessità dell'obiettivo, la sua specificità e la possibilità di adattare il contenuto da distribuire variandolo in base al visitatore; iv) l'affluenza e le persone coinvolte, fattori che influiscono sulla quantità di pubblico e su come mantenere il visitatore interessato e motivato; v) le infrastrutture del sito del progetto e la loro idoneità all'obiettivo; vi) la squadra di lavoro in grado di identificare e monitorare i progressi, e come possono essere costituiti; vii) la capacità di valutare successi e fallimenti del progetto e il valore dell'esperienza⁸.

Crowdsourcing, a term coined in 2005, has been defined (Merriam-Webster) as the process of obtaining required services, ideas, or content by soliciting contributions from a large group of people, especially when drawing conclusions about effective and ineffective models of implementation. Driven by such practical issues and general societal trends, crowdsourcing seems likely to become a necessary part of heritage institutions' workflow⁶. Nevertheless, despite the widespread prevalence of crowdsourcing projects in the cultural heritage domain, not all initiatives to date have been universally successful. Several have failed to recruit adequate numbers of participants or those with the requisite skills to complete the desired task.

What decides the success or failure of an exhibition project? Is it possible to organize models that can be instructive for more effective project design⁷? Specific attributes for project success are: i) size of the institution, and in particular the familiarity of the institution with projects involving digital stimuli and multimedia; ii) type of the collection: there is a correlation between the content and the type of crowd that the project might attract; iii) complexity of the target task and its specificity, opportunity to adapt the content to be delivered to the visitor accordingly; iv) the 'crowd' and people involved, factors shaping the amount of crowd involvement and how to keep a crowd interested and motivated; v) project site infrastructure and its suitability to the target; vi) the team identifying and monitoring progress, and their training; vii) ability to evaluate the project's successes and failures and assess the value of the experience⁸.

Alcuni dati sulla mostra di Pavia

Il futuro per le NUIs è molto promettente e alcune mostre cominciano ora a costruire inventari museali dei dispositivi impiegati. Le NUIs possono essere utilizzate in molti modi fantasiosi, al fine di guidare i visitatori attraverso esperienze coinvolgenti, incoraggiandoli a sentire, riflettere, toccare, e perseguire il coinvolgimento sensoriale, memorabile e facilmente realizzabile.

La mostra di Pavia ha avuto un successo oltre le previsioni, non solo per il numero di partecipanti (10.556 biglietti staccati, dei quali almeno 400 familiari, quindi oltre 11.000 visitatori, cifra non usuale per le mostre pavese), ma anche e soprattutto per il numero di persone che hanno cercato attivamente di utilizzare le NUIs a disposizione, cioè: immagini tattili (6 *full color* e due monocromatiche); stampe 3D di personaggi (3 a piedi e 3 a cavallo) e un cannone, e stampe 3D della città di Pavia (in 3 scale diverse); interazione gestuale mediante *Kinect* (una postazione); comportamenti in terza persona con avatar di un personaggio della battaglia (una postazione); e infine, certamente non ultima, la modalità di interazione oculare (tre postazioni).

Quest'ultima è quella che più facilmente poteva essere adeguatamente monitorata e che quindi ci ha fornito una prima base statistica significativa su questa modalità di interazione. I dati registrati sono i seguenti:

- i visitatori che hanno deciso di sperimentare l'esplorazione oculare degli arazzi sono stati 3.753;
- di questi 3.753, il numero di visitatori che sono arrivati alla fine dell'interazione producendo uno o più *gazeplot* sono 652;
- mediamente sono stati visitati 2,38 arazzi per persona, con una durata media di visita di 4 min e 25 sec, per un totale di 1.551 *gazeplot*, che ora sono a disposizione degli analisti.

Data on the Exhibition of Pavia

The future for NUIs is very promising and some exhibitions are now beginning to build museum inventories of the devices used. The NUIs can be used in many creative ways, in order to guide visitors through engaging experiences, encouraging them to feel, think, touch, and pursue sensory involvement, that is impressive and easily accomplished.

The Pavia Exhibition met with a success that went beyond expectations, not just in terms of the number of participants (10556 tickets sold, including at least 400 family tickets, so over 11000 visitors, an unusually high number for Pavia exhibitions), but also owing to the number of people who actively used the available NUIs, namely: tactile images (six were full-color, two were monochrome); 3D human characters prints (three standing and three on horseback) and a cannon, and 3D prints of the city of Pavia (in three different scales); gesture interaction by Kinect (one PC); third person movements using avatars of a character in the battle (one PC); and finally, visual interaction (three PCs).

The latter was the most easily monitored and provided a first set of statistically significant data on this mode of interaction. The recorded data are as follows:

- 3753 visitors experienced the visual interaction;
- 652 visitors completed the experience and recorded their fixation sequence, producing one or more *gazeplots*;
- on average, 2.38 tapestries per person were visited, with an average visit duration of 4 m and 25 seconds, recording a total of 1551 *gazeplots* that are now available to analysts.

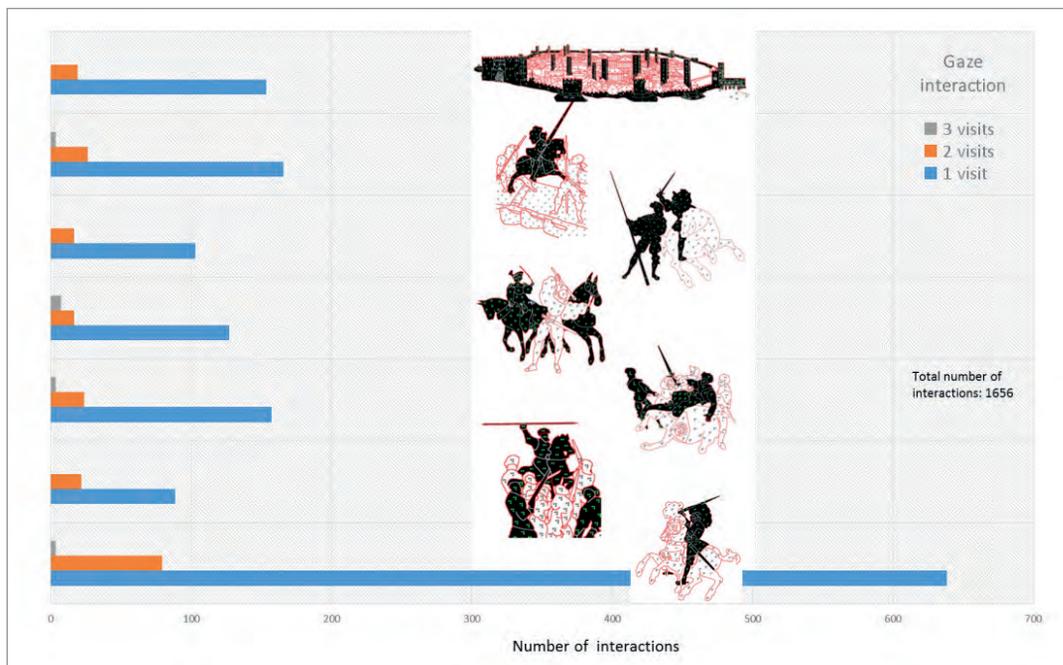


Figura 1. Statistica sulle interazioni per arazzo. Le ordinate rappresentano per ciascuno dei sette arazzi, identificati da una delle scene principali, gli istogrammi del numero di visite (il massimo è tre); le ascisse rappresentano il numero di ciascuno degli ordini di visita (azzurro, arancio e grigio rispettivamente per una, due o tre visite).

Figure 1. Statistics on interactions with each tapestry. Bar charts giving the number of visits (maximum three) are shown on the vertical axis, each of the seven tapestries is identified by one of the main scenes; the horizontal axis represents the number of visits (blue, orange and gray, respectively for one, two or three visits).

Alcuni dati cumulativi sono illustrati in figura 1. Le sequenze di fissazione non sono ancora state analizzate per cui qui ci si limita alla statistica cumulativa delle visite ai singoli arazzi. Quindi i parametri che descrivono i contenuti, come ad esempio la ripartizione dell'attenzione all'interno degli arazzi (numero di visite e tempi sui singoli personaggi o segmenti, sequenze tra personaggi diversi, ecc.), non sono riportati.

Sette arazzi e 1.551 gazeplot: «La storia è una galleria di quadri dove ci sono pochi originali e molte copie» (Alexis de Tocqueville). Con l'eye tracking ogni osservatore sviluppa la sua copia, e tutte le copie sono diverse!

Some cumulative data is shown in Figure 1. The fixation sequences have not been yet analyzed so here we have only presented overall statistics for visits to each tapestry. Data for the content, e.g. allocation of attention *within* the tapestries (number of visits and time spent on individual characters or segments, sequences between different characters, etc.) is not reported.

Seven tapestries and 1551 gazeplots: «History is a gallery of paintings where there are few originals and many copies» (Alexis de Tocqueville). With eye tracking every observer develops his copy, and all copies are different!

1. URL: <<http://www.kurtsalmon.com/en-us2/Telecoms/vertical-insight/1219/Metropolitan-Museumof-Art%3A-adapting-its-organization-to-a-digital-offering>>, consulted November 2, 2015.
2. URL: <<http://www.zdnet.com/article/digital-transformation-at-the-metropolitan-museum-of-art/>>, consulted November 2, 2015.
3. Johnson L., Adams Becker S., Witchey H., Cummins M., Estrada V., Freeman A., Ludgate H.: *The NMC Horizon Report: 2012 Museum Edition*. Austin: The New Media Consortium (2012).
4. URL: <<http://www.museumhack.com/>>, consulted November 2, 2015.
5. Simon N.: The Participatory Museum. URL: <<http://www.participatorymuseum.org/>>, consulted November 2, 2015.
6. Noordegraaf J., Bartholomew A., Eveleigh A.: Modeling Crowdsourcing for Cultural Heritage, Museums and the Web 2014, in *The annual conference of Museums and the Web*, Baltimore (2014). URL: <<http://mw2014.museumsandtheweb.com/paper/modeling-crowdsourcing-for-cultural-heritage/98/>>, consulted November 2, 2015.
7. Din H., Wu S. (eds): *Digital Heritage and Culture: Strategy and Implementation*, Singapore: World Scientific Publishing (2014).
8. Johnson L., Adams Becker S., Estrada V., Freeman A.: *NMC Horizon Report: 2015 Museum Edition*. Austin: The New Media Consortium (2015).

Finito di stampare nel mese di maggio 2016
da DigitalAndCopy S.a.s. - Segrate (MI)
per conto di Pavia University Press