

# UN SISTEMA INTEGRATO PER IL RESTAURO VIRTUALE E LA DIAGNOSTICA NON INVASIVA DEI MANUFATTI

di Elena Console

Lo studio conoscitivo dei manufatti, che coinvolge diversi campi disciplinari, beneficia dello sviluppo di nuove tecnologie che permette di avere strumenti diagnostici innovativi e tecniche di elaborazione delle immagini sofisticate. La TEA e i suoi partner, l'ISTI-CNR, e il DIMEG-UNICAL, stanno portando avanti un programma di ricerca decennale finalizzato alla realizzazione di un sistema in grado di approfondire la conoscenza del manufatto grazie alle acquisizioni multispettrali.

Lo studio conoscitivo delle opere d'arte, dei documenti e dei manufatti in genere è di per sé interdisciplinare e vede coinvolti i settori più disparati: dalle scienze fisiche-matematiche, a quelle informatiche ed ingegneristiche e soprattutto quelle storiche-umanistiche.

Grazie allo sviluppo della tecnologia è possibile disporre di strumenti di indagine innovativi e totalmente non invasivi che consentono di approfondire la conoscenza del patrimonio culturale e di facilitare la conservazione e la fruizione dei manufatti.

A questo si aggiungono i progressi delle tecniche di elaborazione delle informazioni visive che hanno ampliato le possibili applicazioni scientifiche in cui le immagini digitali e le ricostruzioni tridimensionali hanno un ruolo fondamentale sia in tema di conoscenza e diagnostica dello stato di conservazione dei manufatti che di possibilità di "ricostruzione virtuale", utile sia alla comprensione dei manufatti stessi quanto alla loro fruizione e conservazione.

In questo campo la TEA ( Territorio, Economia, Finanza ed Ambiente sas di Elena Console & C., [www.teacz.com](http://www.teacz.com)), società di servizi operante da oltre 15 anni nel settore della consulenza statistica e nella ricerca nel settore dei beni culturali, porta avanti da più di un decennio un programma di ricerca finalizzato alla realizzazione di un sistema hardware e software, di facile utilizzo e di costi contenuti, per l'acquisizione, il restauro e l'archiviazione di documenti.

Il sistema, che mutua la sua architettura da un settore all'apparenza molto distante quale quello del telerilevamento per l'osservazione terrestre, consente di migliorare la leggibilità del testo, evidenziare particolari nascosti non visibili all'occhio umano, effettuare in modo totalmente non invasivo una prima diagnosi dello stato di salute del documento facendo ricorso alle tecniche di imaging multispettrale appositamente adattate alle diverse tematiche indicate.

L'imaging multispettrale rappresenta, quindi, il primo approccio metodologico per lo studio di un'opera d'arte ed è preliminare a qualsiasi altro tipo di analisi scientifica poiché consente di acquisire sul manufatto informazioni quali, ad esempio, inchiostri o pigmenti utilizzati per la sua realizzazione, interventi di restauro eseguiti in precedenza, stato di salute dello stesso, e di ottenere un quadro delle problematiche eventualmente da approfondire o verificare facendo ricorso ad altre tecniche diagnostiche.

A questo si aggiunge la possibilità di garantire la consultazione e la conservazione dei documenti, attraverso la creazione di archivi digitali, e la possibilità di consentirne un accesso e facile, immediato e a un gran numero di utenti attraverso la rete informatica in modo capillare.

In sintesi il sistema messo a punto dalla TEA e dal suo partenariato, rappresentato dall'Istituto di Scienze e Tecnologie dell'Informazione del CNR di Pisa ed il Dipartimento di Meccanica dell'Università della Calabria, consente:

- di approfondire la conoscenza del manufatto consentendo uno studio scientifico dello stesso grazie alle acquisizioni multispettrali,
- di conservarlo digitalmente,
- di effettuarne un restauro virtuale,
- di valorizzarlo grazie alla creazione di applicazioni multimediali, visualizzazione e navigazione interattiva e musei virtuali.

Col passare del tempo libri e documenti sono soggetti a progressivo deterioramento dovuto ad un insieme di cause.

Tra le più comuni stanno l'invecchiamento naturale, l'usura, le cattive condizioni di conservazione e gli incendi. A questo si aggiunge il fatto che nel tempo i materiali utilizzati per la produzione dei documenti, cioè carta o pergamena e inchiostri, possono modificare la loro consistenza e le loro caratteristiche.

Questi fattori possono provocare effetti di diffusione, sbiadimento, infiltrazione o trasparenza dell'inchiostro da una faccia all'altra del documento o dalle pagine successive, macchie e basso contrasto dei caratteri rispetto allo sfondo, alterando la leggibilità del documento stesso.

Questi problemi si verificano nella maggior parte degli archivi europei governativi, storici, ecclesiastici e commerciali ed è per questa ragione che trovare dei rimedi efficaci ha un enorme impatto sia dal punto di vista sociale che dal punto di vista tecnologico.

Le tecniche di elaborazione di immagini e l'utilizzo di idonei dispositivi ottici di acquisizione assumono un ruolo fondamentale in questa direzione, perché possono garantire la diagnostica non invasiva, la consultazione e la conservazione dei documenti, attraverso la creazione di archivi digitali, e la loro fruizione anche quando gravemente compromessi, per mezzo di tecniche di restauro digitale.

## OBIETTIVI

L'obiettivo generale dell'attività di ricerca che il partenariato costituito dalla TEA sas, dall'Istituto di Scienze e Tecnologie dell'Informazione del CNR di Pisa e dal Dipartimento di Meccanica dell'Università della Calabria svolge da quasi un decennio è quello di coniugare le tradizionali attività di restauro e di intervento sui manufatti artistici con strumenti di acquisizione multispettrale e tridimensionale, metodologie di image processing e sistemi di archiviazione digitale e ricerca intelligente al fine di realizzare un sistema di facile uso e di costi contenuti per il restauro virtuale di documenti danneggiati.

Le direttrici su cui si fonda il programma di ricerca sono tre qui sinteticamente descritte:

- la definizione di uno strumento hardware per l'acquisizione multi spettrale coniugata al 3D basato su un'architettura modulare flessibile, ossia in grado di sostituire facilmente una qualsiasi delle sue componenti;
- la selezione e test di algoritmi innovativi per il trattamento di immagini da scansioni multispettrali e multivista di documenti e manoscritti antichi, fotografie in bianco e nero, dipinti, per migliorare la leggibilità, eliminare gli interferenti, individuare e classificare componenti distinte, consentire la mosaicatura e l'inserimento di *watermark* per la tutela della sicurezza del bene virtuale e dei diritti di autore e di proprietà;
- la creazione di un sistema di indicizzazione e di ricerca intelligente che tenga conto della possibilità di acquisire ed elaborare tipologie di documenti diverse (manoscritti, fotografie, dipinti) per far fronte ad esigenze di accessibilità e di conservazione.

Nel seguito verranno brevemente descritte le metodologie alla base del sistema, in parte già realizzato, e saranno mostrati alcuni dei risultati più significativi ottenuti ricorrendo a detto sistema.

## METODOLOGIE

Nel campo dei Beni Culturali l'analisi, il monitoraggio e lo studio di manufatti ed opere, quali dipinti, statue, affreschi, documenti antichi, è di rilevante importanza per favorirne la conoscenza, la conservazione e la diffusione sul web di tale patrimonio. A tal proposito i dispositivi ottici consentono di ottenere una serie di dati dell'opera attraverso l'acquisizione di immagini e applicando opportune configurazioni ottiche, senza invadere o intaccare l'opera con strumenti a contatto. In particolare, l'utilizzo di dispositivi di acquisizione multispettrale permettono di aggiungere alla classica immagine RGB ulteriori informazioni invisibili all'occhio umano, consentendo di leggere testi in parte cancellati dall'usura o da danni o di poter studiare i disegni preparatori di un dipinto. Un'altra tecnica ottica molto usata per lo studio dei Beni Culturali è l'acquisizione 3D che permette di ottenere un modello digitale tridimensionale. Dall'analisi del modello è quindi possibile effettuare diverse investigazioni riguardo deformazioni dei materiali, crepe, lesioni e altro.

Il poter disporre di immagini digitali consente di ricorrere all'Imaging multispettrale, tecnica di indagine non invasiva che consente di estrarre informazioni da immagini acquisite in diverse bande dello spettro elettromagnetico.

Con la parola inglese *imaging* si intende tutto ciò che riguarda l'immagine, dalla formazione, all'analisi, alla elaborazione, alla archiviazione, alla riproduzione e altro.

Per multispettrale si intende la possibilità di

acquisire immagini in molteplici bande dello spettro elettromagnetico, tra cui la luce visibile, a seconda degli strumenti utilizzati. Questa tecnica consente di acquisire informazioni sulla composizione e sul degrado dei manufatti in modo totalmente non invasivo.

Inoltre l'acquisizione di immagini nell'infrarosso e nell'ultravioletto permette di approfondire le conoscenze sullo stato di conservazione e sugli elementi del documento non visibili ad occhio nudo, senza dover prelevare campioni e danneggiare il manufatto.

Un sistema di imaging multispettrale è analogo ad un sistema di tele-rilevamento ed è costituito dall'oggetto da osservare (nel nostro caso un manufatto), da una sorgente di energia (sole o sistemi di illuminazione) e da un sensore in grado di misurare l'energia elettromagnetica riflessa dall'oggetto (camera CCD).

L'imaging con camere digitali può essere praticata con diverse modalità di cui illustriamo brevemente le caratteristiche:

1) *Studio d'immagine generata da radiazione visibile riflessa*  
Utilizza la luce riflessa dall'oggetto nel visibile, cioè luce di lunghezza d'onda compresa tra i 380 e i 780 nm. Questa tecnica è particolarmente adatta a mettere in risalto il colore e l'apparenza dei manufatti. Costituisce il punto di partenza delle analisi poiché rappresenta la base per tutti i successivi confronti con le altre tipologie di acquisizioni.

2) *Studio d'immagine generata da radiazione infrarossa riflessa*  
Utilizza la luce riflessa dall'oggetto nell'infrarosso. Con le camere digitali aventi sensori al silicio si lavora nell'intervallo spettrale 780÷1150 nm. La luce infrarossa, a differenza di quella visibile e ultravioletta, può penetrare in profondità lo strato superficiale di un quadro o di un affresco e quindi può mettere in evidenza pentimenti, sottopitture, sinopie ed altre informazioni utili per la classificazione dell'opera e per il restauro. Nel caso dei documenti consente di individuare la tipologia di inchiostro utilizzato, per esempio gli inchiostri metallo-gallici assorbono energia nella banda degli infrarossi per cui ad una ripresa IR sbiadiscono o scompaiono, a differenza degli inchiostri carboniosi che, invece, possono risaltare. Altra interessante applicazione è nel caso dei palinsesti. Un palinsesto è un manoscritto redatto su pergamena o su papiro il cui testo originario è stato cancellato e sostituito con altro disposto nello stesso senso o in senso trasversale al primo.



Fig. 1 - Camera CCD multispettrale.

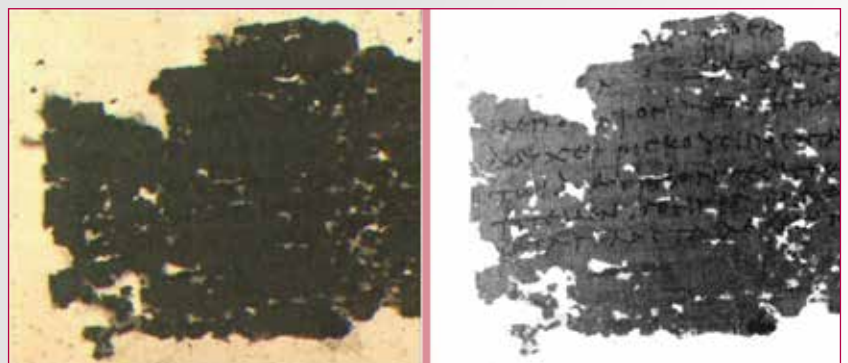


Fig. 2 - Papi di Ercolano (frammento), esempio di acquisizione multispettrale. a) RGB b) Infrarosso

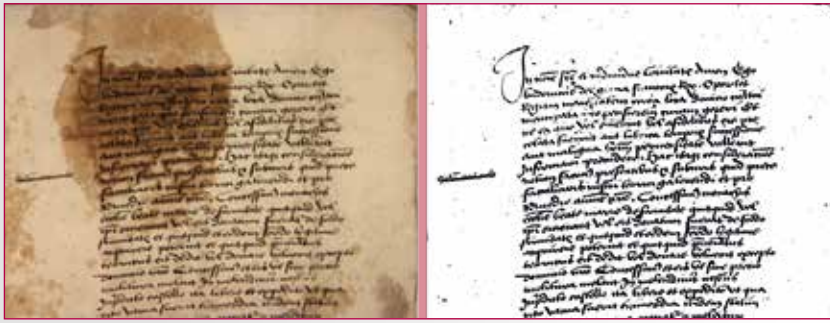


Fig. 3 - Restauro virtuale, esempio di rimozione delle macchie.  
a) Immagine originale b) Immagine restaurata

Questa consuetudine, determinata dal fatto che nell'antichità la pergamena era molto rara, è stata causa della perdita di opere di grande valore. In questo caso l'analisi agli infrarossi consente di rilevare particolari non visibili ad occhio nudo e di far risaltare il testo cancellato.

3) *Studio d'immagine generata da radiazione di fluorescenza visibile*  
L'imaging in fluorescenza utilizza la luce emessa dai materiali impiegati nella realizzazione del manufatto in conseguenza dell'assorbimento della luce utilizzata per illuminare lo stesso. In breve, quando il manufatto è illuminato da lampade a vapori di mercurio o da una lampada di Wood, le molecole dei materiali utilizzati vengono otticamente eccitate attraverso l'assorbimento della luce. Esse tendono a ritornare spontaneamente allo stato originario e, se sussistono le condizioni, lo fanno riemettendo luce generalmente di energia più bassa di quella assorbita. Così la luce UV è in grado di eccitare fluorescenza nel visibile. Lo spettro della luce emessa da materiali diversi è generalmente diversa e questo può permettere, per esempio, di individuare i ritocchi dei dipinti. Infatti, i ritocchi sulle opere d'arte attuati in operazioni di restauro in epoche successive, utilizzano sovente materiali meno fluorescenti di quelli originali e quindi appaiono più

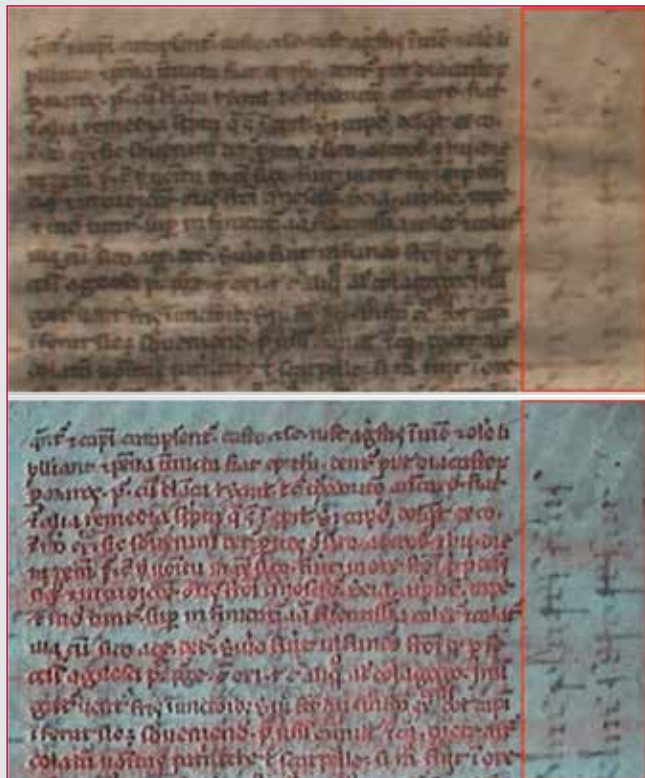


Fig. 4 - Evidenziazione di testi cancellati in un palinsesto.  
a) Immagine RGB b) Immagine in falsi colori

scuri nell'immagine. Si possono evidenziare i diversi materiali usati, identificare i vari pigmenti, si può fare l'analisi della tessitura di superficie e, nel caso dei documenti, si può diagnosticare lo stato di conservazione/degrado come, per esempio, la presenza di muffe e funghi e di umidità ("Uso delle camere digitali nella conservazione dei beni culturali", G. Antonioli, F. Fermi, R. Reverberi, Università degli Studi di Parma).

L'imaging multispettrale rappresenta, quindi, il primo approccio metodologico per lo studio di un'opera d'arte ed è preliminare a qualsiasi altro tipo di analisi scientifica poiché offre una mappatura completa dei dati e delle problematiche eventualmente da approfondire o verificare.

## RISULTATI

Attualmente gli hardware tradizionali per l'acquisizione di immagini digitali di opere d'arte sono poco flessibili e, in genere, invasivi, mentre, dal punto di vista software non esistono programmi dedicati espressamente al restauro virtuale e attualmente i restauratori possono disporre solo di comuni pacchetti di grafica computerizzata, non sempre adeguati alle loro esigenze.

La soluzione proposta dalla TEA è rappresentata da un dispositivo di *imaging* modulare integrato 3D/multispettrale già in parte realizzato, in grado di adattarsi ai più disparati ambienti di lavoro e ad esigenze diversificate, unito ad un software *user-friendly*, adeguato alle esigenze dei potenziali utenti ed in grado di elaborare più bande contemporaneamente.

Dal momento che studenti, ricercatori e restauratori devono gestire un'enorme quantità di documenti e dipinti, che devono essere analizzati, classificati e archiviati, un software che incontri i loro bisogni e consenta di effettuare una serie di operazioni automaticamente è utile, evita perdite di tempo e rappresenta, una novità assoluta.

Nello specifico è stato realizzato un plug-in per GIMP, software di elaborazione grafica open-source, che consente di effettuare le seguenti operazioni di restauro virtuale su immagini anche multispettrali di documenti antichi:

- ▶ rimozione di interferenze da utilizzare nel caso di problemi di trasparenza o diffusione dell'inchiostro tra il fronte ed il retro di una pagina;



Fig. 5 - Evidenziazione di testi nascosti:  
a) Immagine RGB b) Immagine in falsi colori



Fig. 6 - Registrazione d'immagini a) Immagini non allineate b) Immagini registrate

I vantaggi offerti dal sistema nel suo complesso sono molteplici: elevata qualità dell'immagine, non invasività dell'acquisizione, archiviazione dei dati su supporto digitale, possibilità di utilizzare tecniche di *image processing* ai problemi di conservazione artistica sfruttando l'elevata mole di informazioni costituita dalle immagini iper/multispettrali. Tutto questo consente di approfondire la conoscenza di un manufatto artistico per impostare correttamente le successive operazioni di restauro che, per essere le più efficaci possibili devono essere precedute dalla caratterizzazione storica/artistica e scientifica.

## APPLICAZIONI

Come già illustrato, l'*imaging* multispettrale consente di evidenziare particolari caratteristiche del materiale cartaceo e dell'inchiostro utilizzato e di rilevare particolari invisibili all'occhio umano.

È il caso, per esempio, dei papiri rinvenuti ad Ercolano nella Villa dei Papiri appartenuta con molta probabilità a Lucio Calpurnio Pisone Cesonino, suocero di Gaio Giulio Cesare.

Sottoposti ad una temperatura molto elevata, i papiri sono stati sepolti sotto una coltre di materiale vulcanico al momento dell'eruzione del Vesuvio del 79 D.C., subendo un processo di combustione parziale che ne ha consentito la conservazione ma che li ha resi estremamente friabili nascondendo il testo in essi contenuto.

L'acquisizione all'infrarosso da noi effettuata presso la Biblioteca Nazionale di Napoli, mostrata nella figura che segue, ha consentito di riportare alla luce questo testo, senza necessità di alcuna altra successiva elaborazione.

Un altro tipo di degrado che si presenta spesso sui documenti antichi è la presenza di macchie. Una delle funzionalità previste nel software implementato consente la rimozione di questi interferenti con un semplice clic. Altra interessante applicazione è quella che consente di evidenziare particolari nascosti, come nel caso dei palinsesti.

Ricorrendo all'*imaging* multispettrale è possibile evidenziare i testi cancellati. Nella figura che segue è riportato un palinsesto contenuto nella "Practica Brevis", testo attribuito

al maestro Plateario della Scuola Medica Salernitana, risalente probabilmente al XII secolo D.C.. Sono state effettuate delle riprese in RGB ed infrarossi e sono state create delle immagini in falso colore, cioè la banda del rosso dell'immagine RGB è stata sostituita dall'immagine acquisita nell'infrarosso, quella del verde è stata sostituita dal rosso e quella del blu dal verde, con i risultati riportati nella figura che segue.

Un'altra modalità per far emergere i testi nascosti è quella di utilizzare le immagini del fronte e del retro di una stessa pagina e, combinandole insieme, recuperare quanto non appare più ad occhio nudo (cfr. figura 5).



Fig. 7 - Statuto dell'Arte della Seta della città di Catanzaro (1519), realizzato per la Camera di Commercio di Catanzaro.

- ▶ Registrazione di immagini non allineate della stessa pagina;
- ▶ rimozione della macchie;
- ▶ miglioramento del contrasto;
- ▶ creazione di immagini in falso colore;
- ▶ scomposizione dell'immagine RGB in altri spazi colore;
- ▶ analisi statistica per evidenziare testi nascosti, come nel caso dei palinsesti, cioè documenti scritti e cancellati più volte sullo stesso supporto rappresentato dalla pergamena.

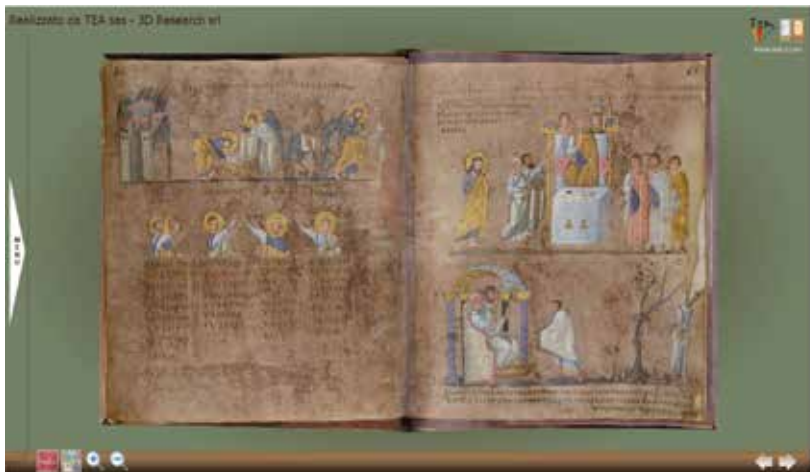


Fig. 8 - Codex Purpureus Rossanensis (V - VI sec. D.C.), realizzato per il Quirinale.

Un'altra applicazione utile è quella della registrazione d'immagini (*image registration*). Si tratta di quel processo necessario per poter confrontare o integrare i dati ottenuti da diverse misure dello stesso oggetto.

Registrare due o più immagini significa sovrapporle esattamente stabilendo un'esatta corrispondenza tra tutti i pixel. Il risultato consiste in una serie di immagini perfettamente allineate.

Un altro dei vantaggi dell'imaging multispettrale è la restituzione virtuale del manufatto, cioè la possibilità di ricrearne una copia digitale, come riportato nelle figure che seguono. In sintesi ricorrere all'*imaging* multispettrale offre questi vantaggi:

- ▶ Elevata qualità dell'immagine
- ▶ Visualizzazione immediata dell'immagine acquisita
- ▶ Non invasività dell'acquisizione
- ▶ Archiviazione dei dati su supporto digitale
- ▶ Semplice duplicazione e stampa di copie
- ▶ Possibilità di utilizzare tecniche di image processing ai problemi di conservazione artistica
- ▶ Effettuare una diagnostica dello stato di conservazione del manufatto

#### BIBLIOGRAFIA

Antonoli G., Fermi F. & Reverberi R., "Uso delle camere digitali nella conservazione dei beni culturali", Università degli Studi di Parma, Dipartimento di Fisica e Istituto Nazionale di Fisica della Materia, Parco Area delle Scienze 7/A, 43100 Parma, <http://www.fis.unipr.it/beni/Venezia.htm>

Salerno E. & Tonazzini A., "Extracting erased text from palimpsests by using visible light", in A. Ferrari, Ed., Proc. 4-th Int. Congress Science and Technology for the Safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin, Cairo, Egypt, 6-8 December 2009, Associazione Investire in Cultura - Fondazione Roma Mediterraneo, 2010, Vol. II, pp. 532-535.

Bianco G., Bruno F., Tonazzini A., Salerno E., Savino P., Zitová B., Šroubek F. & Console E., "A framework for virtual restoration of ancient documents by combination of multi-spectral and 3D imaging", Proc. Eurographics Italian Chapter Conference (EG-IT 2010) "Computer graphics meets computer vision", Genova, 18-19 November, 2010, pp. 1-7.

Salerno E., Tonazzini A. & Bianco G., "Digital restoration of historical documents by diversity techniques and statistical processing" SIMAI 2008, 9th congress of the Italian society for applied and industrial mathematics, Roma, 15-19 settembre 2008, Minisymposia: "Image Analysis Methods for Cultural Heritage"

#### ABSTRACT

The The cognitive study of artefacts, involving several disciplinary field, benefits from the development of new technologies that allows to have innovative diagnostic tools and sophisticated image processing techniques. TEA and its partners, the ISTI-CNR, and the DIMEG-UNICAL, are pursuing a decennial research program aimed at the realization of a system able to deepen the knowledge of the artefact thanks to the multispectral acquisitions; to store it digitally, to carry out a virtual restoration, to enhance it by creating multimedia and interactive applications.

#### PAROLE CHIAVE

RESTAURO VIRTUALE; IMAGING MULTISPETTRALE; DIAGNOSTICA NON INVASIVA; ULTRAVIOLETTI; INFRAROSSO; IMMAGINE DIGITALE; PALINSESTI; FALSO COLORE

#### AUTORE

ELENA CONSOLE

T.E.A. SAS DI ELENA CONSOLE & C.

CONTRADA SANTA DOMENICA, 48E - 88100 CATANZARO (I)

TEL.: +39.0961.723634

FAX: +39.0961.794294

[elena@teacz.com](mailto:elena@teacz.com)