

## Quando la Tecnologia fa la Storia

EMANUELA MUCCIGROSSO

### Presentazione

Il lavoro di tesi *Raffaello alla Farnesina. Applicazioni e Funzione del Radar Topologico a immagine a colori (RGB-ITR)*, svolto interamente presso il Centro Ricerche Energia (CRE) dell'ENEA di Frascati, tratta dell'impiego di una nuova tecnologia considerata all'avanguardia nel campo dei Beni storico-artistici la quale utilizza tre fasci laser che scansionano l'opera senza essere per nulla invasive.

Prendendo come caso di studio la loggia di Amore e Psiche nella Villa Farnesina, si è voluto evidenziare l'aspetto di un nuovo approccio allo studio e alla fruizione delle opere d'arte nonché le relative differenze con le metodologie che l'hanno anticipata.

Nel primo capitolo è stato effettuato un excursus storico critico dei mezzi di riproduzione tradizionali che si sono susseguiti nel corso della storia. Degli esempi in cui si manifestano delle lacune importanti: il colore è alterato (a causa del contesto ambientale) e l'immagine è statica, imprigionata nella carta e per questo non può essere "mossa" da noi.

### RGB-ITR, una nuova tecnologia applicata ai Beni Culturali

Il mondo dei Beni Culturali è tradizionalmente affezionato allo studio qualitativo di un'opera d'arte, che consiste in un giudizio o visione soggettiva dell'esperto d'arte. Questo tipo di analisi ignora l'indagine quantitativa ottenibile attraverso una valutazione delle caratteristiche dell'opera presa in esame. In riferimento all'aspetto quantitativo il campo storico-artistico sta recentemente mostrando un particolare interesse per l'impiego di sistemi di imaging 3D, i quali hanno subito negli ultimi tempi un rapido sviluppo tecnologico e un'importante evoluzione.

Tra questi un ruolo di primo piano per lo studio di un'opera è ricoperto dall'RGB-ITR (acronimo di Red Green Blue - Imaging Topological Radar) e dai relativi pacchetti software di analisi dati e gestione dello strumento.

Nella fattispecie si tratta di un prototipo di laboratorio all'avanguardia di laser scanner 3D a colori ed è l'ultimo nato di una serie di prototipi sviluppati nei laboratori di visione artificiale del centro ricerche ENEA di Frascati de-

nominati ITR. Questo genere di tecnologia laser era inizialmente finalizzata alla diagnostica e al monitoraggio in ambienti fortemente ostili in cui l'uomo può intervenire difficilmente a causa dell'inaccessibilità (es: strutture dei reattori nucleari a fusione). La crisi del nucleare in Italia ha aperto a nuove prospettive d'impiego dello strumento che si è dimostrato ancora più utile nel campo della conservazione, archiviazione digitale, valorizzazione, diagnostica per il restauro, didattica, studio approfondito e fruizione dei beni artistici e culturali sia di superficie che sommersi (archeologia sottomarina).

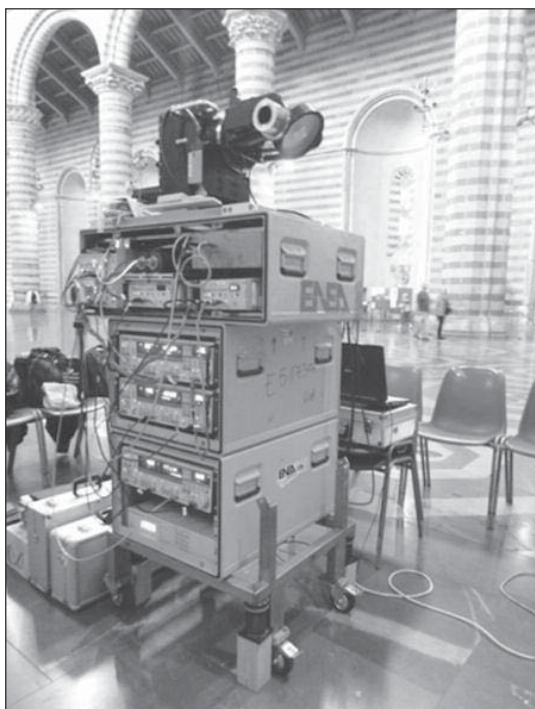
L'RGB-ITR permette di effettuare accurate indagini strutturali e colorimetriche remote, non invasive e puntuali di opere d'arte, anche di grandi dimensioni (come la Cappella Sistina e la Loggia di Amore e Psiche), fino ad una distanza di 35 m con una massima risoluzione spaziale (minimo dettaglio apprezzabile) sotto il mm a 10 m di distanza del sensore dal bersaglio.

La finezza del dettaglio registrato nelle tre dimensioni spaziali è talmente elevata da consentire misure dell'ordine di frazioni di mm su pareti o volte affrescate senza alcun ausilio di ponteggi. La macchina lavora infatti da terra con un range operativo che va dai 2 m fino ai 35 m (distanza raggiunta nella volta stellata al centro del transetto del Duomo di Orvieto).

In sostanza questo strumento è in grado di regalarci meravigliose immagini tridimensionali a colori aventi un'accuratezza e una precisione mai ottenute attraverso gli strumenti convenzionali con-

osciuti. La sua elevata risoluzione permette di riprodurre in modo molto fedele e dettagliato l'opera d'arte dando all'osservatore (in questo caso allo storico dell'arte) un ulteriore ausilio nell'analisi artistica e tecnica dell'opera nella ricerca di eventuali ripensamenti, correzioni, graffiti dell'autore e, non di meno, nel riconoscere lo stile dell'artista e le sue "penellate".

È anche chiamato ra-



**Immagine dello strumento durante la scansione del primo arco a sinistra (spalle all'altare) nel Duomo di Orvieto nella campagna di ottobre 2015 - Foto di Sofia Ceccarelli**

dar ottico a colori poiché funziona come i radar classici ma, al posto delle onde radio/microonde, usa la luce, emettendo un raggio laser bianco corrispondente alla sovrapposizione di tre fasci monocromatici di tre lunghezze d'onda differenti che corrispondono ai tre colori primari, ovvero rosso, verde e blu (red, blue, green, considerati colori primari di una mescolanza additiva). Il fascio modulato in ampiezza viene fatto muovere a frequenze opportune con un sistema di scansione meccanico a grande angolo che cattura la superficie d'interesse in tutta la sfera visiva. Tutti i dati acquisiti sono trasferiti automaticamente al computer direttamente collegato per l'elaborazione e la riproduzione virtuale.

Grazie alla tecnica a modulazione di ampiezza utilizzata per la luce laser è possibile, per ogni punto analizzato, avere informazioni relative alla struttura morfologica e al colore. Quest'associazione *ab origine* del colore ad ogni pixel rende possibile un'attenta analisi colorimetrica della superficie e, ripetendo la scansione a distanza di tempo, è possibile valutare lo stato di "salute" del pigmento (con adeguate valutazioni differenziali per evidenziarne eventuali alterazioni o lente migrazioni nel tempo), nonché la degradazione strutturale. Ciò rende lo strumento unico nel suo genere poiché è l'insieme di uno scanner laser 3D e di un colorimetro che funziona in maniera remota e puntuale. Ecco perché può rappresentare un valido supporto tecnico molto prezioso per i restauratori e per gli storici dell'arte.

Le immagini sono costituite da tre piani di colore sovrapposti (chiamati layers), contenenti i dati del colore relativi all'opera scansionata, e da informazioni di distanza che costituiscono un insieme complementare di dati inerenti la visione. Sono altresì superate le forti limitazioni di tutte quelle tecniche di correzione delle distorsioni, solitamente a monte di tutte le operazioni di sovrapposizione e ortonormalizzazione di immagini ottenute con dispositivi ottici diversi.

Le caratteristiche innovative principali dell'RGB-ITR sono dunque la restituzione di nuvole dense di punti contenenti informazioni di distanza (ovvero di struttura) e di colore (opportunosamente calibrati e indipendenti dall'illuminazione esterna) di una superficie, l'elevata risoluzione spaziale/spettrale, un campo di vista e una profondità di campo illimitati in un contesto di misura ai limiti fisici dell'ottica. Ciò consente di ricostruire un modello 3D a colori di altissima qualità di un'opera d'arte, caratterizzato dall'assenza di ombre e da un'elevata capacità di zoom per una visione dei dettagli o d'insieme dell'opera.

Davanti a noi non abbiamo soltanto una nuova immagine che possiamo confrontare con la fotografia,



**Immagine della spot laser attraverso l'occhiale di protezione usato per garantire la sicurezza dell'operatore - Foto di Sofia Ceccarelli**

cercando di capire quale sia la più bella esteticamente e la più utile per l'ispezione critica, ma una nuova generazione di sistemi di acquisizione di immagine in grado di farci riflettere sul futuro della visione e del monitoraggio dell'opera d'arte.

### **Il sistema e il suo funzionamento**

Il laboratorio di visione artificiale del Centro Ricerche Enea di Frascati ha realizzato negli ultimi

anni diversi radar topologici con caratteristiche che variano in funzione degli specifici requisiti applicativi. Gli ambiti di utilizzo più significativi hanno riguardato la robotica, l'automazione, il settore nucleare per il monitoraggio strutturale degli impianti (centrali, reattori, ecc.) e il controllo di qualità in ambito industriale. Grazie alle caratteristiche di non invasività e accuratezza, lo strumento si è dimostrato particolarmente promettente nel settore della tutela del patrimonio artistico e culturale.

Il suo principio di funzionamento si basa sul calcolo indiretto del ritardo temporale di un fascio laser modulato in ampiezza nel percorso di andata e ritorno tra il sensore e il target e viceversa. Ciò è reso possibile misurando la differenza di fase del segnale retrodiffuso dal bersaglio rispetto a un segnale di riferimento (frazione opportuna della luce laser trasmessa).

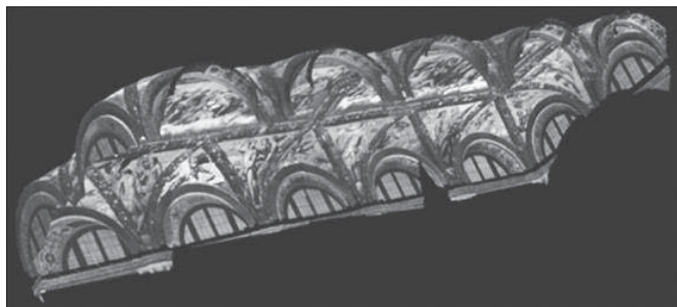
L'ampiezza e la fase del segnale catturato dal rivelatore dipendono rispettivamente dalla riflettività e dalla distanza del punto investito dalla luce laser.

L'RGB-ITR, basandosi sul classico funzionamento dei radar ma con sonda energetica di scansione in banda ottica (luce visibile), consente di analizzare le eventuali deformazioni strutturali della superficie presa in esame, da cui deriva la scelta del termine topologico altresì usato per definire lo strumento. Consente inoltre di acquisire immagini 3D a colori di una scena reale mediante l'uso di tre fasci laser modulati, da cui il termine imaging.

Numerose sono le campagne di misura in cui è stato

**Volta decorata della Loggia di Amore e Psiche, vista attraverso uno screenshot della ricostruzione 3D**





**Volta decorata della Loggia di Amore e Psiche in posizione angolata, vista attraverso uno screenshot della ricostruzione 3D**

impiegato il dispositivo sia a livello nazionale che internazionale:

- Mappamondo di Egnazio Danti (Firenze), ottobre 2003;
- Chiesa rupestre SS. Stefani – Poggiardo (Lecce), dicembre 2003;
- Croce di Rosano (Firenze), marzo 2004;
- Cappella B4 del Monastero rupestre di Basarabi (Romania) e Cripta Bizantina, Tomis (Romania), aprile 2004;
- Grotta dei Cervi, settembre 2004;
- Chiesa Paleocristiana S. Maria Antiqua (Roma), da dicembre 2004 a marzo 2005;
- Tomba etrusca dei Demoni Blu, Necropoli di Tarquinia, da dicembre 2005 ad aprile 2006;
- Villa di Oplonti, Torre Annunziata, giugno 2006;
- Monastero di Sucevita in Romania, luglio 2006;
- Chiesa di Hrastovljie, Slovenia, 2007;
- Cappella Carafa presso la basilica di Santa Maria sopra Minerva in Roma, febbraio 2008;
- Oratorio di San Pietro Martire presso la Caserma Verdirosi di Rieti, 2009;
- Loggia di Amore e Psiche presso Villa Farnesina in Roma, giugno 2011;
- Cappella Sistina, ottobre-novembre 2011;
- Pale d'altare dell'Assunzione nella Cappella Bandini in

**Particolare dei festeggiamenti del Matrimonio di Amore e Psiche. Volti arrossati per tutti i personaggi della composizione (Muse e Pan)**



San Silvestro al Quirinale e dell'Assunzione della Vergine nella Cappella Solano della Vetera in Santa Caterina dei Funari in Roma, maggio 2013;

- Duomo di Orvieto, luglio-ottobre 2013;
- Madonna col Bambino in cartapesta del Sansovino presso l'ISCR (Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro) in Roma, dal 28 al 30 maggio 2014;
- Santa Margherita (icona del Vivarini) presso l'ISCR (Roma), dal 28 al 30 maggio 2014;
- Copia della Sindone di Arquata (Arquata del Tronto) presso la chiesa di San Francesco, dal 18 al 20 giugno 2014;
- Bronzi di Riace, nel Museo Nazionale della Magna Grecia (Reggio Calabria), dal 14 al 18 luglio 2014;
- Duomo di Orvieto, scansioni della volta stellata al centro del transetto, del primo arco a sinistra (dando le spalle all'altare) e della Cappella di San Brizio, dal 12 al 15 ottobre 2015.

### Una nuova realtà

La prima volta che ho avuto l'occasione di utilizzare gli schermi 3D ho perso il controllo del mouse e la volta si è ribaltata all'improvviso. La sensazione è stata incredibile. D'istinto mi sono dovuta abbassare per evitare di essere colpita. Ero così presa dall'esplorazione virtuale da aver letteralmente dimenticato di essere in laboratorio. Nella mia mente il luogo che conteneva il mio corpo non erano quattro pareti bianche, ma libravo nella loggia di Psiche e i miei occhi vedevano lo stesso mondo di Raffaello. I più minuscoli particolari, le pennellate, il dolce viso di Psiche, era tutto nelle mie mani. Ecco perché quando la volta ha iniziato a girare su sé stessa per me è stato come stesse veramente crollando sulla mia testa.

Una storica dell'arte che entra in un laboratorio scientifico non è una cosa da tutti i giorni. Quando racconto della mia tesi ai miei conoscenti, la domanda "ma perché?" sorge spontanea e, anche le volte in cui non è posta, si capisce lo stesso dallo sguardo che per loro sembra una cosa veramente strana. La mia risposta è sempre "perché no?".

Ormai è evidente a tutti come la tecnologia sia l'estensione di ciò che siamo, della nostra vita, del nostro lavoro. È un processo impossibile da arrestare anche in quei campi di studio che non avremmo mai nemmeno immaginato di considerare.

Recentemente ho letto il saggio di Paul Valéry del 1928 dal nome "La conquête de l'ubiquité", dove dice che: "Né la materia né lo spazio, né il tempo non sono più, da vent'anni in qua, ciò che erano da sempre. C'è da aspettarsi che novità

di una simile portata trasformino tutta la tecnica artistica, e che così agiscano sulla stessa invenzione, fino magari a modificare meravigliosamente la nozione stessa di Arte". Come l'arte ha subito nel tempo innumerevoli trasformazioni, chi lavora con l'arte si adegua ad esse, si integra, cambiando di volta in volta il concetto stesso di arte. La maggior parte delle volte in cui ci troviamo ad ammirare un'opera o un'installazione di arte contemporanea ci chiediamo se sia da considerare arte oppure no. Devono passare molti anni per comprenderne il significato che risulta immediato per pochissimi. Gli artisti contemporanei assorbono i fenomeni del mondo, li fanno propri e tutto ciò che vediamo è frutto di un insieme di esperienze. Ognuno di loro individua uno strumento personale adatto alla propria espressività. Non è un caso se in molti scelgono di approcciarsi alla tecnologia. Ci troviamo nel bel mezzo di un'era in cui per progredire nella comprensione artistica è essenziale che lo studioso d'arte abbia tra le sue competenze anche quella scientifica. Di quest'ultima le nuove "leve" della storia dell'arte subiscono senza dubbio il grande fascino.

Nella facoltà di Lettere di Tor Vergata, nei mesi di Aprile e Maggio, si sono tenuti due seminari sull'RGB-ITR, ai quali hanno partecipato tantissimi studenti. Al contrario di quanto si possa pensare, io stessa sono testimone degli sguardi concentrati e ammaliati mentre Giorgio Fornetti parlava di lunghezze d'onda, di velocità della luce, del tempo e di Picasso. Quando le spiegazioni tecnico-scientifiche si concretizzarono in immagini 3D ci fu uno stupore generale che non avevo mai visto in nessuna lezione universitaria da me frequentata. Presi dalla curiosità, il tre luglio 2015 un gruppo di studenti e studentesse, accompagnati dal Professor Occhipinti, hanno fatto visita ai laboratori Enea per vedere l'RGB-ITR in funzione. È stato quello il momento in cui ho realizzato che l'ambiente scientifico attrae come una calamita il mondo dell'arte e viceversa. Il laboratorio è un luogo all'apparenza sterile, con alte pareti bianche e dei poster attaccati. Diversi tavoli con strumenti di vario genere tra cui gli occhiali 3D, cavi, un panno nero. Lo strumento era al centro ed era in funzione. In quel momento il laser puntava su di una statua di plastica che a me ricordava una riproduzione dell'Apollo saurokton di Prassitele. Gli schermi 3D giganti (cinquantacinque pollici) erano accesi e pronti per essere utilizzati. Tutto era come l'avevo lasciato qualche giorno prima, tranne per le quattro file di sedie occupate dai ragazzi dell'università. Con l'as-

sistenza di Massimo Francucci alcuni di loro hanno provato gli schermi, verificando in prima persona quanto da me detto all'inizio del capitolo.

L'esperienza in prima persona è importante per rendersi conto delle straordinarie capacità di questo strumento.

## Conclusioni

Sembrano mondi così distanti, quello dell'arte e della scienza, e invece, come dimostrato in questo lavoro di tesi, sono ambiti strettamente contigui.

Nel nostro paese si percepisce una netta separazione tra la cultura tecnologico-scientifica e quella umanistica tale da diventare in alcuni casi antagonistica. Una possibile spiegazione s'individua negli esigui finanziamenti elargiti in ricerca, cultura e innovazione. Decenni di scelte sbagliate e contrapposizioni filosofiche hanno contribuito al formarsi di una visione dicotomica che oppone saperi con caratteristiche qualitative (lettere, arte, teatro, scienze sociali, comunicazione) a quelli con caratteristiche quantitative (matematica, fisica, chimica, informatica, ingegneria), le cui conseguenze sono evidenti nell'impostazione culturale dell'individuo singolo ma soprattutto nel mercato del lavoro. Nel campo dell'arte, se pensiamo all'arretratezza di cui i musei italiani soffrono nel campo dell'apertura alle nuove tecnologie, non è difficile riconoscere quanto abbia nociuto l'impermeabilità tra sapere "umanistico" e sapere "scientifico". Simili considerazioni e un intenso approfondimento nella mia tesi di laurea mi forniscono un primo indizio di quanto la cultura scientifica e quella artistica siano invece concatenate tra loro, tanto da ispirarsi l'una con l'altra.

Questa fusione delle due sensibilità è la prova del fatto che l'assolutezza di una disciplina non esiste. Ogni materia non è fine a se stessa poiché ha bisogno, per poter progredire, di potersi integrare con tutte le discipline della conoscenza e, nello specifico caso della storia dell'arte, si percepisce la crescente necessità di poter vedere le opere prendere vita e svincolarsi dall'apparente immobilità che le caratterizza.

Quanto appena detto è dimostrabile in questa tesi di Laurea in cui è stato ampiamente esplicitato il lavoro svolto dall'RGB - ITR, l'unico strumento che attualmente è in grado di far vivere le opere e annullare la dicotomia tra arte e scienza.

*Materiale gentilmente concesso dall'unità FSN-TECFIS del Centro Ricerche ENEA di Frascati.*

## BIBLIOGRAFIA

2013 activity report, diagnostics and metrology laboratory, Laboratorio Tecnografico C.R. ENEA Frascati, Frascati, 2013.

ARASSE D., *Il Dettaglio: la pittura vista da vicino*, Il Saggiatore, Milano, 2007.

ARNHEIM R., *Arte e percezione visiva*, Feltrinelli, Milano, 2012.

BALDINI N., *I Classici dell'Arte, Raffaello, La vita e l'arte, I capolavori*, Rizzoli - Skira per il Corriere della Sera, Milano 2003.

BARTOLINI L., FERRI DE COLLIBUS M., FORNETTI G.,

FRANCUCCI M., GUARNERI M., PAGLIA E., RICCI R., RGB-ITR: a new native RGB AM 3D laser scanner for artwork inspection and conservation, Proceedings of the International Topical Meeting on Optical Sensing and Artificial Vision OSAV'2008 (San Pietroburgo, Russia, 12 - 15 maggio 2008), pp. 17- 24.

BARTOLINI L., DE DOMINICIS L., FERRI DE COLLIBUS M., FORNETTI G., GUARNERI M., PAGLIA E., POGGI C., RICCI R., *Underwater three-dimensional imaging with an amplitude-modulated*

laser radar at a 405nm wavelength, *Applied Optics* 44, N. 33 (2005), pp. 7130-7135.

BARTOLINI L., DE DOMINICIS L., FORNETTI G., FRANCUCCI M., GUARNERI M., POGGI C., RICCI R., "Improvement in underwater phase measurement of an amplitude-modulated laser beam by polarimetric techniques", *Optics Letters* Vol. 32, N. 11 (2007), pp. 1402-1404.

BARTOLINI L., DE DOMINICIS L., FERRI DE COLLIBUS M., FORNETTI G., FRANCUCCI M., GUARNERI M., PAGLIA E., POGGI C., RICCI R., *Polarimetry as tool to improve phase measurement in an amplitude modulated laser for submarine archaeological sites inspection*, *Proceedings of SPIE* Vol. 6618, 66180I (2007), pp. 66180I-1, 66180I-12, in O3A: *Optics for Arts, Architecture, and Archaeology* (European Conference on Optical Metrology, Monaco di Baviera, Germania, 18 – 22 giugno 2007).

BARTOLINI L., DE DOMINICIS L., FERRI DE COLLIBUS M., FORNETTI G., FRANCUCCI M., GUARNERI M., NUVOLI M., PAGLIA E., RICCI R., "Experimental evidence of signal-optical noise interference like effect in underwater amplitude-modulated laser optical radar systems", *Optics Letters* Vol. 33, N. 22 (2008), pp. 2584-2586.

BARTOLINI L., DE DOMINICIS L., FERRI DE COLLIBUS M., FORNETTI G., FRANCUCCI G., GUARNERI M., NUVOLI M., E. PAGLIA E., C. POGGI C., R. RICCI R., "Uso di tecniche polarimetriche per l'imaging 3D di oggetti immersi in acqua con sistemi laser-radar a modulazione di ampiezza", Rapporto tecnico ENEA, RT/2008/51/FIM, ISSN/0393-3016 (finito di stampare nel mese di aprile 2009), pp. 1-74.

BARTOLINI L., FERRI DE COLLIBUS M., FORNETTI G., FRANCUCCI M., GUARNERI M., PAGLIA E., RICCI R., *RGB-ITR: a new native RGB AM 3D laser scanner for artwork inspection and conservation*, *Proceedings of the International Topical Meeting on Optical Sensing and Artificial Vision OSAV'2008* (San Pietroburgo, Russia, 12 - 15 maggio 2008), pp. 17-24.

BELLORI G.P., *Descrizione delle immagini dipinte da Raffaello d'Urbino*, Roma, 1695.

BELLORI G.P., *Le vite de' pittori, scultori, e architetti moderni*, Roma 1672, Torino, 1976.

BOREA E., *Bellori e la documentazione figurativa fra l'antico, il moderno e il contemporaneo*, in *L'idea del Bello*, catalogo della mostra, De Luca Editori d'Arte, Roma, 2000.

BRESSAN PAOLA, *Il colore luna. Come vediamo e perché*, Laterza, Roma, 2007.

DE DOMINICIS L., AL-OBAIDI A., FORNETTI G., GUARNERI M., FERRI DE COLLIBUS M., FRANCUCCI M., NUVOLI M., *Progress in the structural monitoring of offshore infrastructure by 3D subsea laser profilers*, Technical report series on the Optoelectronics for the Oil and Gas Industry (Aberdeen, UK, 6 giugno 2013).

DE DOMINICIS L., FORNETTI G., GUARNERI M., FERRI DE COLLIBUS M., FRANCUCCI M., NUVOLI M., AL-OBAIDI A., MCSTAY D., *Structural monitoring of offshore platforms by 3D subsea laser profilers*, *Proceedings of Offshore Mediterranean Conference and Exhibition 2013* (OMC 2013), 2013-004 OMC Conference Paper-2013 (Ravenna, Italia, 20 - 22 Marzo 2013), www.onepetro.org.

DE VECCHI P., CERCHIARI E., *I tempi dell'arte*, volume 2, Bompiani, Milano 1999.

DE DOMINICIS L., FERRI DE COLLIBUS M., FORNETTI G., FRANCUCCI M., GUARNERI M., NUVOLI M., PAGLIA E., RICCI R., *Polarimetry as a valid means to reduce optical noise in underwater 3D imaging by means of amplitude-modulated laser optical radar systems*, *Optics Letters* Vol. 34, N. 14 (2009), pp. 2117-2119.

DE DOMINICIS L., FERRI DE COLLIBUS M., FORNETTI G., GUARNERI M., NUVOLI M., RICCI R., FRANCUCCI M., "Improving underwater imaging in an amplitude modulated laser system with radio frequency control technique", *Journal of the European Optical*

Society - Rapid Publications 5, 10004 (2010), 10004-1 – 10004-5, ISSN 1990-2573.

DE DOMINICIS L., FERRI DE COLLIBUS M., FORNETTI G., GUARNERI M., NUVOLI M., RICCI R., BARTOLINI L., FRANCUCCI M., "Theoretical determination of power backscattered by the medium for an amplitude-modulated laser-radar in an underwater environment", Rapporto tecnico ENEA, RT/2010/36/ENEA, ISSN/0393-3016 (finito di stampare nel mese di settembre 2010), pp. 1-59.

DE DOMINICIS L., FERRI DE COLLIBUS M., FORNETTI G., GUARNERI M., NUVOLI M., RICCI R., BARTOLINI L., FRANCUCCI M., *Theoretical determination of total power backscattered by a Lambertian flat target with constant reflectivity immersed in a stratified homogeneous medium for an amplitude-modulated laser system*, Rapporto tecnico ENEA, RT/2010/47/ENEA, ISSN/0393-3016 (finito di stampare nel mese di gennaio 2011), pp. 1-40.

DE DOMINICIS L., FORNETTI G., GUARNERI M., FERRI DE COLLIBUS M., FRANCUCCI M., NUVOLI M., *Terrestrial and subsea 3D laser scanners for cultural heritage applications*, Energia, Ambiente e Innovazione (EAI, bimestrale ENEA, Speciale II-2012 Diagnostics and Imaging – Knowledge, Diagnostics and Preservation of Cultural Heritage), pp. 123-128.

FANTONI R., FERRI DE COLLIBUS M., FRANCUCCI M., FORNETTI G., GUARNERI M., RICCI R., CANEVE L., COLAO F., FIORANI L., PALUCCI A., PILAR ORTIZ CALDERON M., *High resolution laser remote imaging innovative tools for preservation of painted surfaces*, *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Congress on Science and Technology for the Safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin*, Vol. III – Diagnostics and Restoration (Istanbul, Turchia, 22 - 25 Novembre 2011), pp. 122-133.

FANTONI R., FERRI DE COLLIBUS M., FRANCUCCI M., FORNETTI G., GUARNERI M., CANEVE L., COLAO F., FIORANI L., PALUCCI A., SPIZZICHINO V., *High resolution laser remote imaging innovative tools for preservation of painted surfaces: information from reflectance and fluorescence data*, *Proceedings of SPIE* Vol. 9065, *Fundamentals of Laser-Assisted Micro- and Nanotechnologies* (FLAMN-13), section Laser Cleaning and Artworks Conservation (St. Petersburg, Pushkin, Russia, 24 - 28 June 2013), 90650Z (28 November 2013), doi: 10.1117/12.2052539.

FERRI DE COLLIBUS M., BARTOLINI L., FORNETTI G., FRANCUCCI M., GUARNERI M., NUVOLI M., PAGLIA E., RICCI R., *Color (RGB) imaging laser radar*, *Proceedings of SPIE* Vol. 6622, 66220I (2007), pp.1- 11.

FOSSI G., *Uffizi*, Giunti, Firenze 2004.

FORNETTI G., FERRI DE COLLIBUS M., GUARNERI M., FRANCUCCI M., RICCI R., PAGLIA E., NUVOLI M., DE PASCALIS F., *ITR (Imaging, Topological, Radar). Sistema per la visione laser remota e non intrusiva a colori 3D ad altissima precisione di scene reali di grandi ampiezza, particolarmente per impieghi nel campo del restauro, conservazione e valorizzazione di beni culturali e per la visione e metrologia in ambienti fortemente ostili come l'interno di macchine per la fusione nucleare*.

FRANCUCCI M., DE DOMINICIS L., FERRI DE COLLIBUS M., FORNETTI G., GUARNERI M., NUVOLI M., *RGB-ITR: a 3D laser scanner for remote colorimetry and structural monitoring in cultural heritage*, *Fotonica 2013*, 15° Convegno Nazionale delle Tecnologie Fotoniche (Milano, Italia, 21 - 23 Maggio 2013).

FRANCUCCI M., FORNETTI G., FERRI DE COLLIBUS M., DE DOMINICIS L., GUARNERI M., NUVOLI M., *Fruizione conservativa: il laser scanner 3D a colorimetria remota (RGB-ITR)*, *Proceeding per LuBeC 2012* (Lucca per i Beni Culturali), Workshop on *Smart, Sostenibile e Sicuro: il Futuro dei Centri Storici* (Lucca, Italia, 18 Ottobre 2012).

FRANCUCCI M., DE DOMINICIS L., FERRI DE COLLIBUS

- M., FORNETTI G., GUARNERI G., NUVOLI M., RICCI R., *Simulazione Monte Carlo di propagazione in acqua di fasci laser modulati: applicazione per imaging e comunicazioni ottiche*, Fotonica 2012, 14° Convegno Nazionale delle Tecnologie Fotoniche (Firenze, Italia, 15 – 17 Maggio 2012), ISBN 9788887237146.
- FRANCUCCI M., DE DOMINICIS L., FERRI DE COLLIBUS M., FORNETTI G., GUARNERI M., NUVOLI M., *Determination of the range error in the incoherent amplitude-modulated laser optical radars*, Rapporto tecnico ENEA, RT/2012/17/ENEA, ISSN/0393-3016 (finito di stampare nel mese di settembre 2012), pp. 1-48.
- FRANZESE P., *I geni dell'arte, Raffaello*, Mondadori Arte, Verona 2008.
- FROMMEL C.L., *La Villa Farnesina a Roma*, Franco Cosimo Panini Editore, Modena, 2014.
- GOETHE J.W., *Viaggio in Italia (1786-1788)*, Mondadori, 2013.
- GUARNERI M., FORNETTI G., FERRI DE COLLIBUS M., FRANCUCCI M., RICCI R., NUVOLI M., *S. Peter Martyr (Rieti, Italy): a study case for 3D color laser scanner (RGB-ITR)*, Proceedings of SPIE Vol. 8084, 80840N (2011), 80840N-1 – 80840N-9 in O3A: *Optics for Arts, Architecture, and Archaeology III*, (Optical Metrology Conference, Monaco di Baviera, Germania, 23 - 26 maggio 2011).
- GUARNERI M., FERRI DE COLLIBUS M., FORNETTI G., FRANCUCCI M., NUVOLI M., RICCI R., *Remote colorimetric and structural diagnosis by RGB-ITR color laser scanner prototype*, Advances in Optical Technologies, Vol. 2012, Article ID 512902, doi: 10.1155/2012/512902 (2012), pp. 1-6.
- GUARNERI M., DE DOMINICIS L., FERRI DE COLLIBUS M., FORNETTI G., FRANCUCCI M., NUVOLI M., *How the amplitude modulation of n-laser stimuli could change our way to observe submerged and emerged worlds*, IEEE Conference Proceeding, 3DTV-Conference: The True Vision-Capture, Transmission and Display of 3D Video (3DTV-CON), 2013, Volume IEEE Catalog Number: CFP1355B-ART, (Aberdeen, UK, 7 – 8 October 2013), pp. 1, 4, ISSN 2161-2021, doi: ISBN: 978-1-4799-1369-5.
- GUARNERI M., DANIELIS A., FRANCUCCI M., FERRI DE COLLIBUS M., FORNETTI G., MENCATTINI A., *3D remote colorimetry and watershed segmentation techniques for fresco and artwork decay monitoring and preservation*, Journal of Archaeological Science 46 (2014), pp. 182, 190, doi: 10.1016/j.jas.2014.02.020, available on line on 21/03/2014.
- GUARNERI M., BARTOLINI L., FERRI DE COLLIBUS M., FORNETTI G., FRANCUCCI M., PAGLIA E., RICCI R., KOLAR J., NEMEC I., STRLIC M., *RGB-ITR application for cultural heritage: a practical case approached in the church of SS. Trinity in Hrastovljje*, Atto della conferenza CHRESP: 8th EC Conference on Sustaining Europe's Cultural Heritage, (Lubiana, Slovenia, 10 - 12/11/2008), pp. 36-39.
- KANDINSKY W., MARC F., *Il Cavaliere Azzurro*, SE SRL, Milano, 1988.
- KANDISKY W., *I classici dell'arte - Presentazione di Giulio Carlo Argan*, Il Novecento, Rizzoli-Skira, Corriere della Sera, 2004, Milano.
- MUCCIGROSSO E., *Raffaello alla Farnesina. Applicazioni e Funzione del Radar Topologico a immagine a colori (RGB-ITR)*, Università degli studi di Roma Tor Vergata, 2014/2015.
- NEGRI ARNOLDI F., Sansoni per la scuola, Milano 2004.
- OCCHIPINTI C., 2012, *L'Arte in Italia e in Europa nel secondo Cinquecento*, Einaudi, Roma 2012.
- OCCHIPINTI C., 2013, *Il Piranesi, Mariette, Algarotti. Percorsi settecenteschi nella cultura figurativa europea*, Universalita (collana Horti Hesperidum, Didattica), Roma 2013.
- RICCI R., FERRI DE COLLIBUS M., FORNETTI G., POGGI C., BARTOLINI L., GUARNERI M., *Telemetria laser e visione artificiale. Acquisizione di immagini telematiche e ricostruzione di superfici 3D: l'esperienza del laboratorio di Visione Artificiale del Centro Ricerche ENEA di Frascati, Rapporto tecnico interno ENEA, RT/2004/29/FIS, ISSN/0393-3016 (2004).*
- RICCI R., FERRI DE COLLIBUS M., FORNETTI G., FRANCUCCI M., GUARNERI M., PAGLIA E., *ITR: A laser rangefinder for cultural heritage conservation applications with multiple-sensor data integration capabilities*, Proceedings of the International Conference LACONA VII – Lasers in the Conservation of Artworks (Madrid, Spagna, 17 – 21 Settembre 2007) – Castillejo et. al. (eds), Taylor & Francis Group, ISBN 978-0-415-47596-9, (London, 2008), pp. 447-452.
- RICCI R., FRANCUCCI M., DE DOMINICIS L., FERRI DE COLLIBUS M., FORNETTI G., GUARNERI M., NUVOLI M., PAGLIA E., BARTOLINI L., *Techniques for effective optical noise rejection in amplitude-modulated laser optical radars for underwater three-dimensional imaging*, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing (special issue on Advances in Signal Processing for Maritime Applications) Vol. 2010, Article ID 958360, doi: 10.1155/2010/958360 (2010), pp. 1-24.
- RICCI R., DE DOMINICIS L., FERRI DE COLLIBUS M., G. FORNETTI G., M. GUARNERI M., M. NUVOLI M., M. FRANCUCCI M., *RGB-ITR: an amplitude-modulated 3D colour laser scanner for cultural heritage applications*, Proceedings of the International Conference LACONA VIII, Lasers in the Conservation of Artworks (Sibiu, Romania, 21 - 25 Settembre 2009), pp. 641-646.
- RICCI R., DE DOMINICIS L., FERRI DE COLLIBUS M., FORNETTI G., GUARNERI M., NUVOLI M., FRANCUCCI M., *U-ITR: a 3D laser scanner prototype aimed at underwater archaeology applications*, Proceedings of the International Conference LACONA VIII – Lasers in the Conservation of Artworks (Sibiu, Romania, 21 – 25 Settembre 2009).
- RICCI R., FRANCUCCI M., DE DOMINICIS L., FERRI DE COLLIBUS M., FORNETTI G., GUARNERI M., NUVOLI M., *Methods for optical noise rejection in an amplitude-modulated laser optical radars for underwater three-dimensional imaging*, Energia, Ambiente e Innovazione (bimestrale dell'ENEA), anno 57 (gennaio - aprile 2011), pp. 67-73.
- RICCI R., BARTOLINI L., DE DOMINICIS L., FERRI DE COLLIBUS M., FORNETTI G., FRANCUCCI M., GUARNERI M., NUVOLI M., PAGLIA E., *U-ITR: a 3D laser scanner prototype aimed at underwater archaeology applications*, atto della conferenza CHRESP: 8th EC Conference on Sustaining Europe's Cultural Heritage, (Lubiana, Slovenia, 10-12/11/2008), pp. 144-145.
- SCIOLLA G.C., 2001, *Studiare L'arte. Metodo, analisi e interpretazione delle opere e degli artisti*, UTET, Torino 2010.
- STROLLO R.M. (a cura di), *Disegno e restauro, conoscenza analisi intervento per il patrimonio architettonico e artistico*, Aracne editrice, Roma, 2010.
- VAROLI - PIAZZA R., *Raffaello. La loggia di Amore e Psiche alla Farnesina*, Silvana Editoriale, Milano, 2002.
- VASARI G., *Le vite de' più eccellenti pittori scultori e archi tettori*, vol. IV, Edizione Giuntina 1568, Istituto geografico De Agostini Novara, Novara, 1967.
- VENETTONI S., Tesi di Laurea in Museologia e Storia del collezionismo dal titolo: *"Scipione Pulzone: dietro le quinte di una mostra (2013). Applicazioni e funzione del Radar Topologico a immagine a colori (RGB-ITR)"*, Roma, 2014.
- VENTURI A., *Orme di Raffaello in Roma*, Casa Editrice "Roma", Roma, 1920 ca.
- ZUCCARI A., *Raffaello e le dimore del Rinascimento*, Arte Dossier, Giunti.
- ZUCCARI A., *Il Rinascimento a Roma. Nel segno di Michelangelo e Raffaello. Catalogo della mostra* (Roma, 25 ottobre 2011-12 febbraio 2012), saggio "Raffaello a Roma: le grandi imprese pittoriche", Mondadori Electa, Roma, 2011.