

# L A S E R

APPLICAZIONI

**IL CONNUBIO  
VINCENTE  
FRA SOFTWARE  
E COMPETENZA  
LASER**

**IL LASER PER  
IL RESTAURO:  
ANALISI DI UNA  
RICERCA  
DIVENTATA  
INNOVAZIONE  
RADICALE**

**PIACENZA È STATA  
UNA TAPPA  
IMPORTANTE PER  
IL MONDO LASER  
ITALIANO**

**NUMERO 23**  
gennaio febbraio  
2009

*postatarget*  
magazine

00001232  
RAI 079/2008

Posteitaliane

**PubliTec**

Via Passo Pordoi 10  
20139 Milano



# IL LASER PER IL RESTAURO: ANALISI DI UNA RICERCA DIVENTATA INNOVAZIONE RADICALE

**S**econdo la *European Innovation Progress Report 2006* della Comunità Europea "L'innovazione sta nel cambiamento e nella sua gestione nel tempo. Da nuove idee l'innovazione può sviluppare prodotti nuovi o prodotti migliorati".

Applicare questo concetto al settore dei beni culturali e in particolare alle attività di conservazione e protezione, implica aver chiaro che questo settore obbliga alla massima cautela nella sperimentazione, con tempi d'integrazione di un prodotto innovativo nei protocolli di applicazione che possono arrivare anche al decennio. Perciò, oltre agli studi scientifici e tecnologici si devono analizzare gli aspetti socio-economici per ottenere i modelli delle dinamiche di settore e favorire le relative scelte di *governance*.

Molte analisi che si sono sviluppate negli anni '90 hanno focalizzato la loro attenzione sul *management* e sull'organizzazione della fruizione del servizio, ma non hanno dedicato sufficiente attenzione alle dinamiche dell'innovazione scientifica e tecnologica delle metodologie di conservazione, mentre contestualmente vi è stato un significativo impegno progettuale di ricerca e di innovazione, sia grazie a iniziative nazionali che nel quadro dei programmi ricerca dell'Unione Europea.

Emerge quindi dallo stato dell'arte una carenza d'indagine proprio sugli aspetti organizzativi della ricerca scientifica e all'innovazione tecnologica nel-

**QUESTO ARTICOLO INTENDE FARE IL PUNTO SU CIÒ CHE È SUCCESSO INTORNO ALLE APPLICAZIONI LASER PER IL RESTAURO NELL'ULTIMO DECENNIO, AL FINE DI OFFRIRE AL DIBATTITO CRITICO DELLA TUTELA E CONSERVAZIONE DEI BENI CULTURALI E DELLE ORGANIZZAZIONI DELLA RICERCA LE CONCLUSIONI CHE POSSONO ESSERE TRATTE DA UN CASO RITENUTO DI SUCCESSO, CON LO SCOPO DI DARE UN CONTRIBUTO ALLA GOVERNANCE DEL SETTORE.**

di Renzo Salimbeni e Salvatore Siano



1. Dettaglio del processo di pulitura laser di dipinti mediante un sistema laser a eccimeri KrF con scansione bidimensionale del fascio e controllo in linea con LIBS.

la conservazione dei beni culturali, studi che sarebbero invece di grande interesse per individuare gli elementi cruciali e governare gli effetti delle iniziative tese a trovare sempre nuove soluzioni ai sempre differenti problemi che quotidianamente si affacciano in questo settore.

Questo lavoro vuole presentare un'elaborazione originale di ciò che è successo intorno alle applicazioni laser per il restauro nell'ultimo decennio, al fine di offrire al dibattito critico della tutela e conservazione dei beni culturali e delle organizzazioni della ricerca le conclusioni che possono essere tratte da un caso ritenuto di successo, con lo scopo di dare un contributo alla *governance* del settore.

### La domanda di ricerca e innovazione nel settore

C'è da chiedersi se in questo settore la ricerca e l'innovazione siano dominate da processi di domanda o di offerta. Ovvero, sono gli utilizzatori finali che indirizzano l'innovazione, oppure sono i centri di ricerca che offrono ipotetiche soluzioni? Non vi è dubbio che nella maggioranza dei casi si tratti della seconda ipotesi, anche se al-

#### 2. La statua del profeta Abacuc durante il suo restauro con laser nei laboratori dell'Opificio delle Pietre Dure di Firenze.



cune istituzioni nazionali di tutela hanno comunque organizzato laboratori di ricerca al loro interno. In questo senso, si può parlare di domanda di ricerca e innovazione anche se da paese a paese essa è sensibilmente differente.

Attualmente, la richiesta di studi sempre più interdisciplinari per affrontare il bisogno di conoscenza scientifica del bene è pressante tanto quanto lo è il riconoscimento dell'opera d'arte nella sua dimensione storico-artistica. In questo senso, la ricerca scientifica è l'attore fondamentale che, insieme alla tutela, "genera" l'innovazione del settore, trasferendo al terzo pilastro settoriale, le imprese (sia quelle produttrici di strumenti, che quelle produttrici di servizi di restauro), il *know how* il trovato scientifico da tradurre in prodotto e quindi utilizzarlo nel processo conservativo.

### Le sperimentazioni iniziali sulle applicazioni laser nel restauro

Il caso del laser per il restauro costituisce un esempio di ricerca che ha alle spalle un periodo lunghissimo di sperimentazione, iniziato dalle scoperte di Lorenzo Lazzarini e John Asmus a Venezia nel 1972. Recatosi là per realizzare una documentazione olografica John Asmus si accorse che l'emissione del laser a rubino che stava utilizzando poteva rimuovere le croste nere



3. Sperimentazione iniziale di pulitura di monete romane provenienti da sito archeologico. Le incrostazioni sviluppate vengono rimosse dal laser con immediata leggibilità dei dettagli.

presenti sulle colonne della Chiesa di San Gregorio. Iniziò a quel punto una serie di iniziative che lo portarono a sperimentare in varie città italiane, in Cina e negli USA le possibilità di questa nuova e promettente tecnica di pulitura. Per circa 15 anni la sperimentazione in Italia fu condivisa da Asmus con la Soprintendenza di Venezia e trasferita a collaboratori e utilizzatori, come Giancarlo Calcagno, architetto e restauratore, che utilizzò professionalmente dal 1978, anche se in via sperimentale, un sistema laser

a Neodimio in una serie di restauri di edifici storici.

Una seconda fase iniziò in Francia a fine anni '80, promossa dall'interesse di istituzioni di tutela come il *Laboratoire de Recherche de Monument Historique* per le problematiche riscontrate nel restauro di chiese ed edifici storici in pietra. Un'impresa francese produttrice di laser (BMI) sviluppò un sistema laser a Neodimio che venne utilizzato in una serie di restauri di portali, alle cattedrali di Notre Dame, Chartres ecc. che a fine anni '90 costituiva l'insieme di casi di uso del laser numericamente più consistente. Nel 1994 fu finanziato dal 4° Programma Quadro EU un progetto europeo di ricerca *Laser manportable for stone conservation*, LAMA, che iniziò una serie di progetti europei proseguita nel FP successivi. Questo progetto sviluppò il primo laser a Neodimio che usava una fibra ottica per il trasporto della radiazione fino al manipo, con una produzione di serie da parte di Quantel, nota impresa francese produttrice di laser.

In quello stesso periodo presso il *Conservation Centre* di Liverpool, John Larson iniziava una sperimentazione laser rivolta a opere d'arte in vari materiali provenienti da collezioni museali, dalla quale in collaborazione con esperti laser universitari si è parallelamente sviluppata una ristretta produzione di laser a Neodimio nella stessa città, da parte di *Lynton Lasers*.

Al centro di ricerca FORTH-IESL di Creta, Costas Fotakis si interessò a un altro problema di restauro, la rimozione di ridipinture su icone antiche, per il quale sperimentò un laser ultravioletto (KrF) che appariva il più adatto.

Nel settembre 1995 Costas Fotakis chiamò a Creta tutti i gruppi attivi in questa promettente sperimentazione per una prima conferenza su *Lasers in Conservation of Artworks*, che con l'acronimo LACONA è diventata la conferenza che ha dato un'identità scientifica alla comunità interessata, facendola uscire dall'ambito delle iniziative soggettive, che la marginalizzava sia rispetto alla comunità di studio della fisica del laser, che alla comunità della conservazione.

### Le problematiche emerse

Durante questa vastissima sperimentazione, che coinvolse quasi esclusivamente gruppi di ricerca europei (a eccezione di John Asmus natu-

**COST** Action G7  
**Artworks Conservation by Laser**  
 A network of 36 organisations from 20 countries



An intensive series of 16-17 Dissemination Workshops

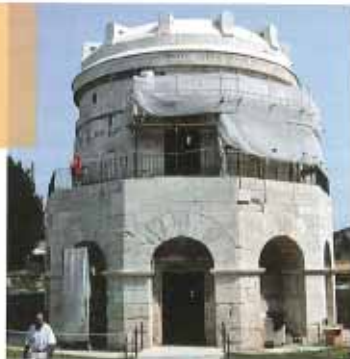
- Budapest, Hungary, 12-13 January 2001
- Vienna, Austria, 15-16 June 2001
- Hatfield, Greece, 8-11 October 2001
- Berlin, Germany, 25-27 April 2002
- Helsinki, Finland, 17-19 October 2002
- Florence, Italy, 5-7 June 2003
- Lisbon, Portugal, 13-15 November 2003
- Paris, France, 18-20 March 2004
- Madrid, Spain, 26-27 August 2004
- Gdańsk, Poland, 7-9 October 2004
- St. Petersburg, Russia, 10-11 May 2005
- Palma, Romania, 18-21 May 2005
- Munich, Germany, 13-16 June 2005
- Ljubljana, Slovenia, 16-17 November 2005
- Nairobi, Kenya, 2-5 February 2006
- La Salletta, Malta, 22-23 March 2006

**5. Cantiere di restauro (CRC srl) del Mausoleo di Teodorico a Ravenna, con l'impiego della pulitura laser per il sottosquadra del monolite di copertura. Dal sistema laser a terra il cavo a fibra ottica raggiunge l'operatore.**

rialmente), e che si focalizzò innanzitutto sulla pulitura laser della pietra, emersero una serie di problemi in parte segnalati fin dalla prima conferenza LACONA in Creta, e successivamente resi oggetto cruciale del dibattito.

Questi problemi furono, infatti, dovuti in parte a meccanismi fisici indotti dall'irraggiamento laser non sufficientemente studiati come, per esempio, gli effetti cromatici di ingiallimento con cui appariva la pietra dopo il trattamento laser, oppure il discoloramento o viraggio di colore indotto su pigmenti vari (ocre, malachite ecc.). In particolare, le esperienze sui portali delle cattedrali francesi richiedevano un trattamento aggiuntivo per ridurre il colore al tono aspettato. Un altro tipo di problema era dovuto alle scelte costruttive dei sistemi come la realizzazione in un solo elemento che rendeva i laser pesanti e ingombranti per l'uso sui ponteggi, oppure il braccio articolato di trasmissione del fascio laser al manipolo che per la sua limitata lunghezza costringeva a frequenti e complicati spostamenti.

Una carenza individuata nel progetto LAMA (1994-1996) era costituita dalla produttività che veniva ritenuta bassa, rispetto a un livello di 10 m<sup>2</sup>/ora che era ritenuto un obiettivo per-



**4. Attività COST G7 per la conservazione di manufatti promossa dall'Istituto IFAC del CNR.**

seguibile, per esempio nel progetto Eureka RE-STOR (1999-2001), che coinvolse gruppi di ricerca e l'impresa francese BMI nell'intento di realizzare un sistema laser a Neodimio con potenza notevolmente superiore (circa 100 W medi) rispetto ai sistemi correnti (circa 20 W) (Figura 1). In Francia però la pulitura laser non fu più ripresa estensivamente e l'impresa BMI abbandonò nel 2003 la produzione di sistemi laser per pulitura. In Germania una serie di progetti focalizzati sulla pulitura laser di vetrate istoriate si conclusero con prospettive di impiego sostanzialmente poco vantaggiose.

Altri progetti furono rivolti in Germania allo sviluppo di sistemi di pulitura laser di documenti antichi, con soluzioni eccellenti che però non hanno avuto le applicazioni di rilievo che si aspettavano. In Olanda un progetto condotto da *Art Innovation* per lo sviluppo di un sistema laser per la pulitura laser di dipinti realizzò un prototipo basato su di una scansione meccanica del dipinto e un controllo spettroscopico (LIBS) in linea, che limitavano il controllo del restauratore durante la fase di attivazione dell'emissione laser. Questa impostazione, nonostante un'estesa validazione realizzata da un restauratore olandese, non riuscì a essere totalmente condivisa dalle istituzioni ufficiali, risultando non in sintonia con le teorie del restauro vigenti.

Nel loro insieme queste limitazioni o insuffi-

Programma	Ente finanziatore	Coordinamento	Partners	Tipo di attività
Progetto finalizzato 1996-2001	CNR	CNR-IEQ	RES 1	ricerca
Rete regionale per l'Alta tecnologia 1997-2000	Regione Toscana	CNR-IEQ	RES 2 CULT 2 SME 2	sviluppo prototipo
RIS+Toscana 2000-2001	Regione Toscana (EU-DG-XIII)	CNR-IFAC	RES 2 CULT 2 SME 2	sviluppo prototipo
Programma Regionale della Toscana di Azioni Innovative 2002-2004	Regione Toscana (EU-DG-XIII)	CNR-IFAC (ex IEQ)	RES 5 CULT 5 SME 12	trasferimento tecnologico rete locale
COST Action G7, 2000-2006	COST-ESF	FORTH-IESL CNR-IFAC (since 2003)	RES 20 CULT 11 SME 2	Rete Europea, disseminazione
Culture 2000 2004-8 2006	EU-DGR	INOE, Romania	RES 6	dimostrazione

**T.1 - Progetti di finanziamento del laser per il restauro in Toscana.**

**6. Due dei prodotti laser dedicati al restauro sviluppati dalla società EL.EN. presentati al Salone del Restauro di Ferrara nel 2002.**



cienti prestazioni portavano a ritenere che anche la più avanzata delle applicazioni della pulitura laser, la pulitura della pietra, fosse una promessa mancata, mentre la pulitura laser di altri materiali, metalli, dipinti, vetro e documenti antichi, era ancora a uno stadio del tutto sperimentale.

### L'esperienza in Toscana

Negli stessi anni si sviluppò a Firenze una serie di progetti di ricerca e di trasferimento, coordinati quasi interamente dall'Istituto IFAC del CNR, indirizzata alla realizzazione di sistemi e di metodi di pulitura laser per i materiali lapidei e per i metalli. Questa serie iniziò nel 1996 nel Progetto Finalizzato (PF) Beni Culturali del CNR, con una ricerca ad ampio spettro svolta prevalentemente in proprio, anche se in continuo rapporto con altre Unità del PF come Opificio delle Pietre Dure, l'Istituto di Geochimica Ambientale dell'Università di Siena, che sono stati successivamente nel partenariato dei vari progetti che seguirono. Fra questi hanno avuto un ruolo articolato i tre progetti della Regione Toscana.

Nei primi due furono sviluppati prototipi di sistemi laser dedicati appositamente per le loro caratteristiche di emissione ai materiali lapidei (1997) e per i metalli (2001), con un partenariato consolidato dove erano rappresentate le competenze di restauro (OPD), sui materiali lapidei (IGCA-UNISI), imprese *high tech*, tra cui EL.EN. SpA impresa produttrice di laser. Il terzo progetto della Regione Toscana (2002-2004) effettuò un'azione di promozione e trasferimento di varie tecnologie laser, radar, 3D, riflettografia IR, ICT ecc. presso le istituzioni di tutela (Soprintendenze) di Firenze, Pisa e Siena, vari Musei (Uffizi, Comune di Firenze, Santa Maria della Scala), organizzazioni secolari di tutela (Opera di Santa Maria del Fiore, Opera Metropolitana di Siena, Opera Primaziale Pisana). Naturalmente questi progetti coinvolgevano partner residenti in Toscana e quindi con effetti verificabili essenzialmente sul territorio (Figura 2 e 3).



**7. Esempi di vendite in Europa di dispositivi laser per il restauro sviluppati dal Gruppo EL.EN.**

Questa esperienza in Toscana è stata portata a livello Europeo da CNR-IFAC in due iniziative: l'Azione COST G7 *Artworks Conservation by Lasers* in progetti *Culture 2000*. La prima di queste ha avuto un ruolo fondamentale perché attorno a un tavolo a vasta partecipazione europea di istituti di ricerca e di istituzioni di tutela e di

restauro venissero messi a confronto e discussi i vari risultati di ricerca, individuando le best practices e innalzando il livello complessivo della comprensione della tematica (Figura 4). I progetti *Culture 2000* sono stati essenzialmente iniziative dimostrative su problemi di conservazione di monumenti ed edifici storici in Romania.

Per ogni considerazione tecnica sui sistemi laser sviluppati in questi progetti si rimanda a quanto pubblicato in *Applicazioni Laser* nel numero 3 di Febbraio/Marzo 2005. Preme qui sottolineare che questa serie di progetti ha formato in Toscana prima e in Europa poi il convincimento che i limiti posti dalle precedenti sperimentazioni potevano essere superati con soluzioni tecniche nuove. Da qui sono nati sistemi laser con

durate d'impulso di microsecondi che non producono ingiallimento della pietra, che utilizzano fibre ottiche lunghe anche 50 m per rendere più agile il lavoro sui ponteggi, che basano il proprio vantaggio rispetto alle tecniche tradizionali non tanto sulla maggiore produttività, ma sulla capacità di risolvere un problema di pulitura altrimenti irrisolvibile e, infine, un livello di ingegnerizzazione e una linea di produzione che permette un prezzo di vendita alla metà del prezzo medio dei concorrenti.

## Fattori specifici di difficoltà

La tecnologia laser si inserisce nel processo di restauro, e più precisamente nel metodo di pulitura irreversibile del materiale, sollevando due tipi di reazioni:

1) Non si tratta, infatti, di una diagnostica non invasiva, che evidentemente troverebbe ampia disponibilità alla sperimentazione, ma di un'innovazione radicale nella fase delicatissima dove si decide il risultato del restauro. Si pensi alla *Teoria del restauro* di Cesare Brandi e al dibattito intorno alle patine, alle vernici e alle velature. È lì, dove il materiale da preservare ha uno spessore anche di pochi micron, che le caratteristiche di precisione e selettività della pulitura laser hanno una destinazione preferenziale. Ciò nonostante, la comunità della conservazione accolse con grande difficoltà e una doverosa cautela nell'impiego, obiettivamente pieno di incognite, questa tecnica ancora sperimentale.

2) Per un lungo periodo era tangibile una barriera culturale anche disciplinare, che la cultura scientifica chimica, prevalente nelle istituzioni preposte, alzava contro le *soluzioni fisiche*. Infatti, dopo decenni nei quali la comprensione degli effetti di degrado e delle loro contromisure era stata demandata solo alla chimica, con la tecnica laser veniva introdotto un processo fisico non conosciuto, l'ablazione laser. Nonostante questo, in molti progetti la responsabilità scientifica veniva affidata molto spesso a chimici, a restauratori oppure ad architetti o ingegneri, che però potevano esprimere una cognizione degli effetti limitata al livello fenomenologico, non potevano includere modelli fisici ac-

9. Dettaglio di pulitura laser (Ditta Anna Brunetta) di dipinti murali nella Sagrestia Vecchia in Santa Maria della Scala a Siena.



curati dell'interazione laser, né tanto meno potevano introdurre modifiche nella emissione del sistema laser come questi modelli avrebbero potuto indicare.

Queste due considerazioni possono spiegare in parte le difficoltà di sistema e giustificano alcune delle conclusioni negative di molti dei progetti prima citati.

## Fattori vincenti dell'esperienza in Toscana

Mentre il coinvolgimento multidisciplinare dei tre pilastri (ricerca, tutela e impresa), considerati ormai obbligatori per poter superare il livello del "progetto di ricerca isolato", è stato presente nella maggioranza dei progetti portati avanti in Europa sulla tematica della pulitura laser, nell'attività svolta in Toscana sono da sottolineare tre fattori caratterizzanti rispetto alle altre esperienze:

- l'individuazione di problemi di conservazione irrisolti o risolti con parziale soddisfazione delle condizioni di miglior preservazione delle patine,
- lo sviluppo di sistemi laser con caratteristiche di emissione individuate tramite studi dell'interazione fisica del laser con il materiale,
- la produzione affidata a una impresa già pre-

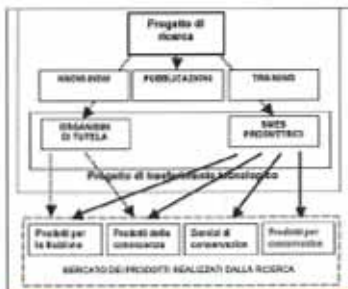
sente sul mercato internazionale con altri prodotti laser.

Il primo punto è strategico perché il "progetto di ricerca" non sia isolato e risponda a un'esigenza reale, che, se risolta (il cosiddetto *breakthrough*), troverà necessariamente l'attenzione della comunità della conservazione.

Per la pulitura della pietra - dove il laser risulta per molti essere la soluzione ideale - vi sono stati all'inizio tre casi, fra loro molto diversi, nei quali le tecniche a impacco chimico o a getto di sabbia a pressione non erano applicabili con successo, interventi che hanno costituito il *breakthrough*.

1) il trattamento a fluosilicato di etile di alcuni paramenti lapidei sulla facciata del Palazzo Rucellai a Firenze, elementi deteriorati a macchie di leopardo e abbrunati tanto da richiedere un alleggerimento del tono, con problemi di distacco e di consolidamento se si fosse impiegato l'impacco. Umberto Baldini, insigne storico dell'arte ed esperto responsabile del restauro, permise la sperimentazione laser che alleggerì facilmente il materiale deteriorato sui capitelli e fregi del taccuina dell'Alberti.

2) Il sottosquadra della cupola monolitica che copre il Mausoleo di Teodorico a Ravenna (Figura 5), dove la Soprintendenza chiese la



8. I meccanismi di progetto che conducono a risultati di ricerca e di trasferimento realizzando un mercato di prodotti innovativi.

sperimentazione laser poiché l'impacco chimico usato per tutto il resto del monumento non lavorava e perché la forza di gravità non permetteva la perfusione dal basso del sottosquadra incrostato. Anche in questo caso il laser preservò la patina sulla pietra (Aurisina), come richiesto.

3) Le dorature in tracce ancora presenti sui bordi delle vesti e capigliatura del gruppo statuario dei Santi Quattro Coronati di Nanni di Banco. Annamaria Giusti, storica dell'arte dell'Opificio delle Pietre Dure e responsabile del restauro, autorizzò la sperimentazione laser che preservò le tracce di doratura, dimostrando inoltre di poter preservare la patina del marmo con lo stesso tono delle zone pulite a impacco. Questo caso ha aperto poi il capitolo dei bronzi dorati che tratteremo a parte.

Come risulta immediato il primo punto caratterizzante dipese dalla fortissima interazione che

impulsi estremamente corti (nanosecondi) e potenti (MW). Molte delle problematiche che hanno fermato altre sperimentazioni provengono da questa scelta iniziale, basata sulla disponibilità di questo tipo di emissione standard, ma non ottimale per la pietra.

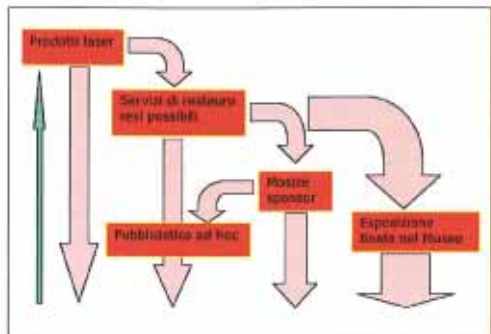
Il terzo fattore deriva dal contributo della società ELEN. S.p.A. che, dopo la realizzazione di un prototipo su progetto IFAC del primo laser a Neodimio ai microsecondi, riuscì a far rientrare la produzione dei modelli dedicati al restauro nella stessa linea di produzione (circa 500 laser per anno) destinata ai modelli per la biomedica. Si tratta di prodotti laser altamente ingegnerizzati, con impostazione a microprocessore attivabile sul display, trasmissione in fibra ottica a un manipolo sorretto dal restauratore e comando a pedale, come ergonomicamente lavora un laser nella mano del chirurgo. La produzione in linea assicurò la "stabilità" di lungo termine del pro-

ta di una sequenza completa di progetti di ricerca, progetti di trasferimento e progetti Europei di networking. Da questa sequenza deriva un consolidamento delle competenze sia nelle istituzioni di tutela che nelle imprese coinvolte. Un risultato tutt'altro che banale, viste le molte barriere culturali esistenti negli enti di tutela che ponevano di fatto ostacoli per la diffusione di questa innovazione.

Considerando lo schema tipico del progetto di trasferimento (Figura 8), quando esso è compiuto accade un fatto importante: mentre con il solo progetto di ricerca il risultato principale conoscitivo, sotto forma di pubblicazioni, rimane all'interno della comunità competente, nel progetto di trasferimento i due attori principali, istituzioni e imprese, destinano il risultato delle loro attività a una comunità molto più estesa che è la società, con i suoi bisogni di fruizione culturale, di consumo di prodotti della conoscenza, di conservazione del patrimonio. Si determina quindi un mercato come risultante di tutto l'indotto direttamente originato dalla ricerca iniziale, sulla base del quale potranno essere valutate le ricadute anche economiche.

Sono esempi di fruizione culturale l'ingresso a musei, alle esposizioni, a eventi speciali. Sono esempi di consumo di prodotti della conoscenza l'acquisto di libri e pubblicistica varia, anche multimediale, che descrive un bene culturale, oppure la richiesta di autentica del bene culturale. Sono esempi di servizi di conservazione l'opera dell'architetto restauratore sull'edificio storico, l'opera del restauratore sul dipinto mal conservato (Figura 9), l'opera di imprese specializzate nel recupero di interi complessi urbani situati in centri storici o comunque di valore storico-artistico. Sono prodotti per la conservazione tutti quei materiali usati nelle suddette attività, così come gli utensili usati per la loro messa in opera, e infine tutti quegli strumenti usati per la diagnostica dello stato di conservazione, per il monitoraggio del processo di degrado (per esempio sensori), per lo stesso restauro come il laser da pulitura.

Nel contesto di questo processo d'innovazione nei procedimenti di restauro occorre prendere in considerazione una serie di ritorni dell'investimento in ricerca, fra cui aspetti di iniziativa privata e di aspetti di iniziativa pubblica.



**10. Vari prodotti derivati amplificano le ricadute economiche (rosa) e teoricamente rendono sostenibili gli investimenti (verde) nell'innovazione.**

l'Istituto IEQ del CNR ebbe fino dai primi anni con le istituzioni di tutela e di restauro, che ci proposero problemi seri, stabilirono gli obiettivi da raggiungere e valutarono il risultato.

L'approccio scientifico di sviluppare prima un modello fisico che descrivesse l'interazione laser ottimale per le caratteristiche chimico-fisiche del materiale e successivamente realizzare laser con quella emissione ottimale è stato uno dei nostri contributi come fisici esperti in tecniche laser. È quello che normalmente viene fatto se si tratta di applicazioni mediche o industriali, e si chiama ottimizzazione del processo. Per motivi diversi questo studio non era stato condotto nei progetti precedenti, dove venivano usati laser a Neodimio nel regime Q-switch, che emettono

dotto e un prezzo di mercato concorrenziale rispetto ai laser costruiti su piccola scala da altri produttori (Figura 6 e 7).

### Il mercato dei prodotti realizzati con la ricerca

Poiché i casi di applicazione di questi sistemi di pulitura laser assumono ormai a varie centinaia, così come l'andamento delle vendite di questi prodotti ha raggiunto adesso l'ordine di grandezza di più di duecento, è possibile svolgere considerazioni di tipo economico, anche se preliminari, attorno a questo caso di innovazione trasferita e diventata prodotto.

Dalla Tabella 1 risulta evidente che l'esperienza in Toscana sul laser per il restauro si è giova-

Per esempio sono riferibili all'area privata le seguenti voci:

- vendita di prodotti laser;
- vendita di servizi di restauro effettuati con tecniche laser;
- vendita di pubblicistica sull'opera restaurata;
- mostra straordinaria dell'opera restaurata.

È invece da riferirsi all'area pubblica la seguente:

- esposizione permanente nel museo e sua valorizzazione.

Le varie categorie di prodotto che sono state indicate si devono intendere potenzialmente connesse. Ovvero così come un qualsiasi studio attuale su di un'opera di Leonardo può stimolare una fruizione più intensa, qualora portato a conoscenza del grande pubblico (si pensi all'aumento di visitatori dell'Ultima Cena di Leonardo, dopo il best seller di Dan Brown), è altrettanto certo che il restauro di un'opera nota riesce di per sé ad avere un impatto su tutte le categorie prima esposte.

Questo è il caso dell'innovazione indotta dal laser per il restauro, che come tecnica avanzata, ha reso possibile il restauro di opere con una precisione che non sarebbe stata ottenuta con altre tecniche. Pertanto a questo nuovo prodotto per la conservazione sono connesse opere di restauro importanti, che prevedono naturalmente la loro divulgazione e la successiva esposizione in museo. Ha quindi senso seguire ognuna di queste categorie e valutarne la prospettiva di sviluppo.

### Prodotti laser per il restauro

In questa decade 1997-2007 l'impresa ELEN, ha sviluppato tre prodotti laser per il restauro, basati su laser a Neodimio con impulsi ai microsecondi, che stanno avendo un relativo successo di vendita, specialmente fra i restauratori privati. Con l'inserimento di Quanta Systems Srl (altra impresa italiana produttrice di sorgenti e sistemi laser), il Gruppo ELEN, ha consolidato la posizione su questo versante di mercato, dato che questa azienda ha da un decennio una produzione di modelli complementari a quelli ELEN, basata su laser a Neodimio Q-switch, con emissione di impulsi di alta potenza ai nanosecondi, che permettono la generazione non-lineare di 2°, 3° e 4° armonica con lunghezze d'onda nel visibile e nell'ultravioletto.



**11. Dettaglio di un fregio laterale della Porta del Paradiso a metà del procedimento di pulitura laser.**

L'insieme dei modelli Quanta System (Thunder Art, Bramante) ed ELEN. (Eos 1000, Eos 100 LQS, Smart Clean II) risulta pertanto coprire le esigenze di ricerca e sperimentazione, così come quelle di uso professionale dei restauratori di materiali lapidei, di affreschi, di manufatti in metallo. Questa gamma di prodotti rende obiettivamente il Gruppo ELEN, il fornitore più completo, offrendo inoltre un prezzo di vendita molto contenuto.

### Servizi di restauro laser

I sistemi laser sviluppati dalle ricerche svolte in Toscana hanno avuto una sequenza crescente di casi di validazione condotti nella logica del progetto di trasferimento. Dapprima come iniziative bilaterali fra CNR e OPD, quindi nel contesto di progetti della Regione Toscana. In questi progetti, il rapporto includeva naturalmente il terzo pilastro costituito dall'impresa di restauro quando l'istituzione di tutela (una Soprintendenza oppure lo stesso OPD) stabiliva il caso di studio fra le attività ordinarie di restauro. Le imprese di restauro che furono quindi coinvolte ebbero una loro selezione naturale basata sul bagaglio di esperienza da esse posseduto per la conduzione precedente di opere di restauro con tecniche tradizionali. Inoltre, la logica di promozione territoriale del pro-

getti della Regione Toscana richiedeva la loro residenza nel territorio della Regione. Questi due criteri di qualità dei servizi offerti e della residenza implicano di considerare un numero evidentemente limitato di "sperimentatori esperti" che fungeranno da apripista per l'intera categoria, che seguirà successivamente lo sviluppo dell'innovazione secondo la logica di mercato e la crescente domanda di quel tipo di tecnologia.

La disponibilità sul mercato di prodotti obiettivamente maturi diventa da quel momento un fattore economico determinante. Prima di questa fase il prezzo della generazione sperimentale dei nuovi strumenti può anche essere molto alto, perché verrà coperto in tutto o in parte dal finanziamento pubblico. Quando però questa tecnica diventa matura, perché ha avuto una validazione completa che ne riconosce il vantaggio, allora chi se ne vuole dotare deve rivolgersi al mercato internazionale dove l'offerta dei prodotti in concorrenza stabilirà la scelta di acquisto, in base sia a fattori tecnici (ogni caratteristica di emissione dispone di un insieme di casi di validazione con pro e contro), che economici (il prezzo, il costo di manutenzione, la ampiezza della gamma di casi ai quali si rivolge).

Dal momento dell'acquisto subentra poi l'offerta della tecnica laser da parte dell'impresa di restauro in occasione delle gare di appalto, che si suppone vada incontro a una domanda esplicita o implicita che si manifesta da parte del direttore dei lavori (Figura 10). In realtà l'attuale regolamentazione, che lascia spazio per la scelta del maggior ribasso, non favorisce l'impiego della miglior soluzione tecnica, che invece può essere favorita nel caso di "affidamento diretto".

### Dal capolavoro in bronzo a un'intera serie

Il successo conseguito con la Porta del Paradiso del Ghiberti costituisce un caso esemplare (Figura 11). Il criterio di proporre il la-





**12. Il successo della soluzione laser sui bronzi della Porta del Paradiso ha reso possibile il restauro di una serie di importanti statue del Museo del Bargello a Firenze.**

**I SISTEMI LASER SVILUPPATI DALLE RICERCHE SVOLTE IN TOSCANA HANNO AVUTO UNA SEQUENZA CRESCENTE DI CASI DI VALIDAZIONE.**

ser laddove sussiste una difficoltà oggettiva che altre tecniche non hanno risolto apre, infatti, una prospettiva naturale e motivata di impiego. Nel caso del bronzo dorato ad amalgama la difficoltà incontrata dagli esperti dell'Opificio delle Pietre Dure, incaricato del restauro, era dovuta all'impiego di un bagno chimico molto efficace, ma dal quale deriva la necessità di mantenere l'opera restaurata in un'atmosfera neutra e deumidificata, e quindi di prevedere per l'esposizione una speciale vetrina. Da questo punto di vista il laser avrebbe potuto eseguire una pulitura senza solventi e quasi a secco, che non avrebbe determinato necessariamente questa condizione obbligata di esposizione. In questo senso, è stato giudicato positivamente, tanto da utilizzarlo comunque per la parte della Porta non ancora pulita, quali i 48 fregi della cornice.

Un ulteriore aspetto positivo dell'utilizzo del laser è di evitare di dover estrarre i fregi dalla loro incastonatura a caldo nella cornice, operazione che avrebbe messo a rischio la loro integrità dovendo eseguire sforzi meccanici di pressione. Un'operazione che avrebbe portato l'agenda dei lavori molto più in là nel tempo, di circa due anni, rispetto invece alla fine di questo anno, quando è previsto il completamento del restauro della Porta. Si tratterà di un evento notevole, di risonanza mondiale, essendo un'opera di restauro

che, dal momento dell'alluvione a Firenze (4 Novembre 1966), è stata condotta con giustificata cautela, risolvendo un insieme di difficoltà, studiandone le più opportune soluzioni e infine arrivando alla conclusione con la soddisfazione di aver riportato in condizioni controllate lo stato di degrado in cui versava.

Dopo questo successo la più importante conseguenza è stata la pulitura di una serie di statue in bronzo esposte al Museo del Bargello a Firenze, per il restauro delle quali era coinvolta l'esperienza dell'Opificio. In questa serie di casi il bronzo aveva avuto un trattamento ottocentesco di patinatura marrone scuro, che era stata data proprio per coprire le dorature originali presenti su alcune parti, come capigliature, dettagli delle vesti e delle decorazioni. La prima statua è stata il David del Verrocchio, seguita dall'Attila di Donatello infine si è appena concluso l'intervento sul David di Donatello (Figura 12).

### L'effetto CLUSTER

Recenti studi economici (Luciana Lazeretti, *Int. Journ. of Urban and Regional Research*, 27.3, 635-48, 2003) escludono ai distretti culturali le logiche dei distretti industriali, ritrovando le condizioni per le sinergie di crescita complessiva quando siano presenti alte concentrazioni di attività ad alta densità culturale in grado di gene-

rare interazioni fra le componenti e con il territorio circostante.

In questa definizione, la città di Firenze si trova ampiamente rappresentata avendo nel suo contesto una densità rara di opere architettoniche, collezioni museali e paesaggio che ne fanno uno degli esempi delle cosiddette città d'arte.

Sono presenti un *cluster museale* che con il Polo Museale Fiorentino riunisce organizzativamente una rete di musei molto importante fra cui la Galleria degli Uffizi, la Galleria dell'Accademia, la Galleria Palatina, il Museo nazionale del Bargello, il Museo degli Argenti, il Museo ar-

cheologico nazionale di Firenze, l'Istituto e Museo di Storia della Scienza. Sono presenti decine di palazzi storici fra cui Palazzo Vecchio, Palazzo Strozzi, Palazzo Pitti, Palazzo Medici Riccardi, il Forte di Belvedere, la Fortezza da Basso, Palazzo Rucellai, Palazzo Davanzati etc. Sono aperte al pubblico case museo come la casa di Dante e casa Buonarroti. Ospita in tutto il territorio una serie di paesaggi urbani di grande rilievo, con opere originali e in copia esposte all'aperto.

Sono inoltre presenti l'Opificio delle Pietre Dure, uno dei centri di restauro più importanti del mondo per l'esperienza accumulata, attore principale dello sforzo eccezionale di recupero e restauro dopo l'alluvione della città del 1966, ed il Centro di restauro della Soprintendenza Archeologica della Toscana. Le istituzioni della tutela sono la Soprintendenza ai Beni Artistici, la Soprintendenza ai Beni Architettonici, la Soprintendenza ai Beni Archeologici della Toscana e infine la Direzione Regionale Toscana del Ministero per i Beni e le Attività Culturali.

Sussiste una varietà di organizzazioni proprietarie di edifici storici, come il Comune di Firenze, l'Opera di Santa Maria del Fiore, l'Arcivescovado, che costituiscono una committenza di attività di restauro.

Sono infine attive sotto l'aspetto della fruizione varie organizzazioni promotrici di mostre che, con una media compresa fra le 20 e 50 mostre

all'anno, coinvolgono normalmente i musei del Polo Museale Fiorentino. Come si vede si tratta di un *cluster culturale* che realizza una fruizione imponente, richiamando attorno a sé un insieme di attività finanziarie, di servizi di allestimento, di attività editoriali.

Oggi questo cluster si arricchisce nel sottosistema della conservazione e nel suo complesso per il contributo delle istituzioni scientifiche della città. Sono fra queste gli istituti del Consiglio Nazionale delle Ricerche che sono da tempo impegnati sulle tematiche della conservazione, con una concentrazione di risorse di competenze e di laboratori relativamente densa, rispetto alle condizioni di difficoltà in cui versa la ricerca italiana in generale, e naturalmente l'Università degli Studi di Firenze con vari Dipartimenti interessati. Si tratta di attori presenti da sempre sul territorio in ordine sparso, ma che soltanto da alcuni anni si riconoscono come comunità in grado di coordinarsi in programmi di ricerca nel settore dei beni culturali. Il CNR con il PF Beni Culturali ha avuto in questa evoluzione un ruolo di iniziatore a partire dal 1996.

Il Polo Scientifico di Sesto F.no, che ospita il Dipartimento di Chimica, il Dipartimento di Fisica, il Laboratorio di Tecniche Nucleari per i Beni Culturali dell'INFN, l'Area di Ricerca CNR con l'Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara", l'Istituto di Conservazione e Valorizzazione dei Beni Culturali, costituisce il cuore di questa offerta di competenze scientifiche, che si integra con altri istituti del CNR al momento esterni al Polo come l'Istituto Nazionale di Ottica Applicata. Questo agglomerato scientifico dispone di competenze nel settore dell'optoelettronica, della spettroscopia, della fisica delle particelle, realizzando dispositivi a microonde, ottici, laser, sensori, diagnostiche varie, tecniche di datazione. È in questo contesto fortemente interagenti che si è realizzato lo sviluppo del laser per il restauro, primo esempio di dispositivo *high tech* studiato dalla ricerca, validato dalle istituzioni di tutela e prodotto dalla impresa locale.

### Conclusioni

L'analisi svolta in questo articolo dimostra la necessità di una serie di fattori cruciali per produrre risultati di ricerca sia etico-culturali che economici, in grado di garantire la sostenibilità degli

investimenti. Nel caso delle ricerche sul laser per il restauro svolte in Toscana, il ritorno dell'investimento è avvenuto in circa dieci anni, con vendite di prodotti e servizi che stanno avendo una dinamica di crescita interessante (alcuni milioni di Euro al momento), l'acquisizione di una *leadership* internazionale nel settore, una produzione crescente che assicura credibilità nel tempo al prodotto laser.

Per il compito essenziale della tutela, la ricerca in questo settore richiede un'organizzazione specifica, basata su di una interdisciplinarietà delle competenze molto più ampia che in altri settori. Ciò implica di conseguenza l'integrazione fra

troppo non funziona, essendo questo settore sottorappresentato in confronto a qualunque altra priorità.

Non è un caso che rispetto ad altri tentativi di sviluppare un prodotto per il laser per il restauro, questo sia a oggi riuscito all'iniziativa localizzata a Firenze in tutte le sue fasi più importanti. La presenza di un *cluster* tutela/scienza molto attivo in questa città ha avuto al contempo una potenzialità di validazione, formazione, industrializzazione che non avrebbe trovato altrove. Non a caso l'Istituto di Fisica Applicata oltre che nello sviluppo del laser è coinvolto anche nei progetti Europei *Light Dosimeter* (LiDo) e *Authentic*,

are places where an intense concentration of activities provides... and interconnects Research, Protection, Local Authorities, High-tech Industry

IFAC European project on Cultural Heritage:

- 1991-1993, IRE, Environmental Research for Art Conservation
- 2000-2002, COE, ALICE, Art, Conservation of the East
- 2002-2004, IRE, A High-Intensity Air-mass Laser
- 2004-2006, IRE, AUTHENTIC, Authentication methodology for metal artefacts
- 2006-2007, IRE, STRATEGY, Strategy for preservation of plastic artefacts in museum
- 2009-2013, IRE, IRE, Cultural Heritage Research Infrastructure

### 13. Progetti Europei sui beni culturali con partecipazione dell'Istituto IFAC del CNR.

competenze umanistiche quali la storia dell'arte e l'archeologia e quelle scientifiche che spaziano dalla biologia alla fisica nucleare, dalla chimica alla metallurgia, dalla petrologia all'ottica, dalla fisica atomica all'economia, dal restauro alla scienza dei materiali ecc.

Una seconda specificità è indicata dall'importanza della sequenza organica di progetti fra loro diversi, destinati dapprima alla ricerca creativa di soluzioni scientificamente avanzate, poi al trasferimento tecnologico del *know-how* alle istituzioni pubbliche che le potranno validare e alle imprese private che le potranno tradurre in prodotti e servizi, quindi la formazione di reti europee di confronto e cooperazione scientifica e tecnologica in grado di selezionare le *best practices* e diffondere una corretta informazione. Attuare questa sequenza in fasi disgiunte fra di loro, lasciando a ognuna di esse di competere bando per bando a livello nazionale o europeo, pur-

ritenuti altri casi di successo per il settore, nonché nell'unica Infrastruttura di ricerca Europea CHARISMA per i Beni Culturali nel 7° Programma Quadro (FP7) (Figura 13).

I programmi nazionali dei singoli Paesi, e in particolare FP7, dovranno tener conto dell'importanza del cluster di eccellenza per destinare le scarse risorse che saranno via via disponibili per le ricerche in questo settore a partnerati in grado di cogliere appieno le opportunità e le sinergie di sviluppo offerte dai cluster, indirizzando gli sforzi di ricerca con una governance in grado di organizzare e attivare intorno al problema tutto il ciclo completo di iniziative altrettanto necessarie di ricerca, di validazione, di trasferimento e ingegnerizzazione.

### QUALIFICA AUTORE

Renzo Galimbeni e Salvatore Siano - Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara" del CNR, Firenze