

aplar **4**

Atti del Convegno **APPLICAZIONI LASER NEL RESTAURO**

Roma 14-15 giugno 2012



IL CUBICOLO “DEI FORNAI” NELLE CATACOMBE DI DOMITILLA A ROMA. CONSIDERAZIONI A CONCLUSIONE DELLA PULITURA LASER

Maria Gigliola Patrizi¹, Rosa Senserrich Espuñes², Barbara Mazzei³, Marta Mascalchi⁴,
Juri Agresti⁴, Iacopo Osticioli⁴, Salvatore Siano⁴

¹ *Impresa individuale, via Cornelio Celso 18, 00161 Roma - gigliola.patrizi@libero.it*

² *Sección conservación-restauración, Facultad de Bellas Artes- Universidad de Barcelona
rosa.senserrich@ub.edu*

³ *Pontificia Commissione di Archeologia Sacra, via Napoleone III, 1, 00185 Roma - bmazzei@arcsacra.va*

⁴ *Istituto di Fisica Applicata “Nello Carrara”, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Sesto Fiorentino (FI)*

Abstract

In questo lavoro sono presentati i risultati del restauro dei dipinti murali che decorano il cubicolo “dei fornai” nelle catacombe di Domitilla a Roma. La pulitura degli affreschi, occultati da incrostazioni calcaree eterogenee, è stata portata a termine utilizzando due sistemi laser Nd:YAG con emissione a 1064 nm: un laser Short Free Running (SFR, durata impulso variabile fra 30 μ s e 120 μ s) e un laser Long Q-Switched (LQS, impulsi multipli di durata di 120 ns distanziati fra loro da 40 μ s). Il restauro ha previsto inoltre una campagna diagnostica eseguita sia con analisi stratigrafiche in laboratorio su campioni prelevati (microscopia ottica, SEM-EDX) sia con analisi *in situ* tramite strumentazioni portatili (spettroscopia LIPS e Raman, riflettanza nel visibile).

La leggibilità della decorazione è stata recuperata mettendo a punto un trattamento laser differenziato in funzione della natura del substrato pittorico e della stratificazione superficiale. In generale, il livello di pulitura finale è stato raggiunto tramite l'assottigliamento graduale dell'incrostazione attraverso un uso combinato dei due sistemi laser.

In conclusione, la pulitura laser è risultata incomparabilmente migliore rispetto alle tecniche meccaniche e chimiche precedentemente utilizzate, riportando in luce particolari della decorazione e della tecnica esecutiva altrimenti non percepibili.

1. Introduzione

In occasione del convegno APLAR 3, tenutosi a Bari nel giugno 2010, sono state presentate le prime prove di pulitura effettuate all'interno del cubicolo “dei fornai” nelle catacombe di Domitilla a Roma [1]. L'ambiente era stato appositamente selezionato per impostare un cantiere pilota atto a verificare le possibilità di asportazione tramite ablazione laser delle concrezioni calcitiche diffuse sulle decorazioni murali, note con il termine di “patine nere” per il caratteristico annerimento dovuto alla presenza di nero fumo [2]. Il cubicolo, un'unità monumentale ipogea caratterizzata da un'ampia gamma di stratificazioni carbonatiche scure, ha fornito l'occasione di indagare ad ampio raggio le possibilità offerte dalla tecnologia laser.

Come già anticipato [1], i primi incoraggianti risultati ottenuti con la pulitura laser avevano dimostrato la possibilità non solo di eliminare la pellicola scura senza danneggiare il pigmento sottostante, ma anche di ottenere una pulitura graduale, soprattutto nelle zone in cui il substrato da preservare era rappresentato da un fondo bianco (*Fig. 1*).



Fig. 1: Cubicolo “dei fornai”, arcosolio con scena di Giona rigettato dal mostro marino. Durante la pulitura con laser LQS.



Fig. 2: Cubicolo “dei fornai”. Una fase della campagna diagnostica: analisi LIPS con strumentazione portatile sviluppata da IFAC-CNR.

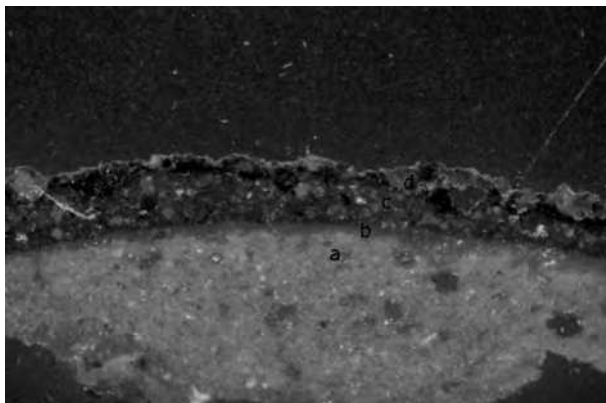


Fig. 3: Cubicolo “dei fornai”. Sezione sottile al microscopio ottico: a) intonaco, b) finitura a calce, c) ocra rossa, d) crosta calcarea.

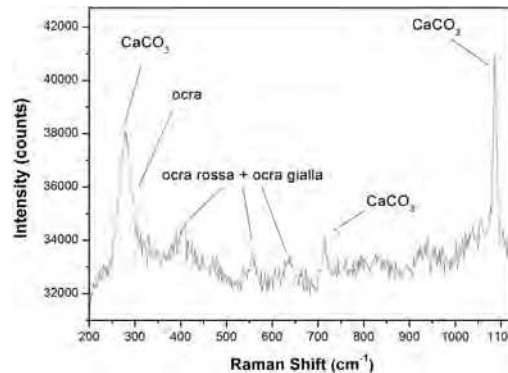


Fig. 4: Cubicolo “dei fornai”. Esempio di spettro Raman su campitura rosso aranciata.

La fase preliminare, costituita da indagini diagnostiche e da test di pulitura, si è conclusa con l'elaborazione di un'accurata mappatura delle problematiche riscontrate e delle relative modalità di approccio per affrontarle.

2. Indagini diagnostiche

La pulitura laser è stata costantemente affiancata da una campagna diagnostica che ha previsto l'utilizzo sia di analisi in laboratorio su campioni appositamente prelevati, sia indagini *in situ*.

I materiali costituenti i dipinti murali sono stati identificati direttamente all'interno del cubicolo tramite misure di spettroscopia Raman, riflettanza nel visibile [3] e spettroscopia di plasma indotto da laser (LIPS). La strumentazione portatile per analisi LIPS è stata sviluppata da IFAC-CNR [4] (*Fig. 2*). Dai micro-frammenti campionati sono state ottenute sezioni lucide e sottili osservate al microscopio ottico e al SEM-EDX per l'analisi stratigrafica.

2.1. Degrado

Il degrado che interessa i dipinti murali del cubicolo “dei fornai” era rappresentato, principalmente, dalla presenza di stratificazioni carbonatiche che occultavano la decorazione pittorica. Le indagini analitiche effettuate hanno permesso di mappare lo spessore e le componenti cromatiche di tali concrezioni, che si sono rivelate notevolmente eterogenee: da quelle nere e coprenti localizzate negli arcosoli, a quelle più spesse con concrezioni terrose multi stratificate, osservate in particolar modo sulle pareti e sulla volta emisferica meridionale, fino ai singolari spot scuri isolati, in rilievo rispetto allo strato pittorico sottostante, concentrati sulle parti alte delle pareti del cubicolo.

In generale la microstratigrafia dei frammenti presenta, partendo dallo strato profondo a quello superficiale: *a*) intonaco, *b*) finitura a calce, *c*) livello pittorico, *d*) crescita calcarea. Il livello *d* è rappresentato da uno strato di calcite micritica di spessore variabile, in cui possono essere riconoscibili elementi ad uno stadio iniziale di crescita (calcite microspartita) e/o silicati, ossidi di ferro e frammenti di tufo, probabilmente tributari delle variazioni cromatiche registrate per il fenomeno concrezionale. A titolo di esempio, la *figura 3* riporta l'immagine al microscopio ottico di un campione prelevato in una zona caratterizzata da questa tipologia di degrado.

Soltanto due campioni, fra i micro frammenti prelevati, rivelavano “anomalie” rispetto alla precedente descrizione, per la presenza di un sottile strato nerastro al di sotto del livello pittorico e della spessa incrostazione superficiale. La natura di questo livello è probabilmente legata ad una precoce crescita calcarea avvenuta sull'impianto decorativo primario, in seguito coperta dalla strato pittorico definitivo (cfr. paragrafo 4).

2.2. Pigmenti

Al fine di identificare tutti i pigmenti utilizzati per decorare le pareti del cubicolo “dei fornai” sono state condotte misure di riflettanza nel visibile, di spettroscopia LIPS e Raman ed analisi stratigrafiche su campioni inglobati. Il confronto fra i risultati ottenuti con le varie tecniche ha permesso di caratterizzare i materiali costituenti il livello pittorico.

• *Pigmenti rossi.*

Analizzando le campiture rosse della decorazione con strumentazione Raman portatile, è stato possibile identificare le principali bande molecolari dell'ocra rossa (a 220 cm^{-1} , 290 cm^{-1} , 400 cm^{-1}) e del carbonato di calcio (a 280 cm^{-1} e 1088 cm^{-1}), facilmente riconoscibili negli spettri registrati (*Fig. 4*).

Gli spettri di riflettanza nel visibile relativi alle stesse zone mostrano il tipico andamento delle ocre rosse, con una spalla a 650 nm e un picco di riflessione centrato a 750 nm.

Le analisi LIPS effettuate *in situ* hanno evidenziato una forte presenza di ferro, maggiore per le tonalità rosse e minore nel caso di tonalità rosse rosate. In questo secondo caso, oltre al ferro, le analisi LIPS hanno rilevato anche un più intenso segnale del calcio: ciò potrebbe indicare la presenza di calcite, molto probabilmente utilizzata per schiarire il colore di partenza. Le analisi SEM-EDX,

condotte su campioni prelevati appositamente, hanno confermato quanto riscontrato con la strumentazione LIPS portatile, vale a dire la forte presenza di ferro.

Da quanto esposto si può affermare che tutte le aree rosse, aranciate e rosse-rosate analizzate sono state dipinte con pigmenti a base di ossidi di ferro.

• *Pigmenti gialli*

Per quanto riguarda le aree caratterizzate da colorazione gialla, attraverso la spettroscopia Raman portatile sono state identificate le principali bande molecolari della goethite (a 300 cm^{-1} , 385 cm^{-1} , 416 cm^{-1}), il composto cromoforo dell'ocra gialla, e del carbonato di calcio (CaCO_3). In alcuni casi, negli spettri Raman sono riconoscibili le bande molecolari relative sia all'ocra gialla che a quella rossa: indice che per ottenere alcune tonalità intermedie si è ricorsi ad una miscela dei due pigmenti.

Negli spettri di riflettanza nel visibile sono riconoscibili le bande di riflessione a 450 nm, 600 nm e 700 nm, tipiche dei pigmenti gialli a base di ossidi di ferro.

Le analisi LIPS effettuate *in situ* e le analisi SEM-EDX condotte sui campioni prelevati dalle aree gialle hanno evidenziato la presenza di ferro, associata a magnesio.

Le informazioni ottenute dall'analisi diagnostica portano a supporre, quindi, che tutte le campiture gialle del cubicolo siano state realizzate con ocre gialle.

• *Pigmenti verdi*

Sui piccoli frammenti prelevati in corrispondenza delle aree verdi sono state effettuate analisi SEM-EDX, che si sono rivelate perfettamente in accordo con quanto ottenuto *in situ* con la spettroscopia LIPS. I risultati di entrambe le indagini evidenziavano la presenza di ferro, indice di pigmenti a base di ossidi di ferro, vale a dire terra verde. Tale ipotesi è stata confermata dai risultati dell'analisi in riflettanza che, solitamente, permette di discriminare fra i diversi pigmenti verdi: verdigris, malachite e terra verde sono infatti caratterizzati da differenti bande di riflessione.

In questo caso, la spettroscopia Raman non ha fornito informazioni utili. La strumentazione utilizzata, provvista di un laser a 785 nm, non permette l'identificazione delle bande molecolari caratteristiche della terra verde che presenta una diffusione debole se irraggiata a questa lunghezza d'onda.

• *Pigmenti blu*

Le analisi LIPS condotte direttamente in cantiere hanno evidenziato la presenza di rame, elemento caratteristico di alcuni pigmenti blu, quali azzurrite e blu egiziano. Fin dai primi colpi laser sono presenti anche calcio e silicio, con intensità relative piuttosto alte. Il loro contributo, quindi, non sembrerebbe dovuto soltanto all'intonaco, ma anche allo strato pittorico superficiale. In questo caso l'ipotesi più probabile è che si tratti di blu egiziano, pigmento caratterizzato dalla presenza di cuprorivaite ($\text{CaO CuO } 4\text{SiO}_2$), piuttosto che di azzurrite ($2\text{CuCO}_3 \text{ Cu(OH)}_2$). Le analisi SEM-EDX, effettuate su campioni prelevati appositamente ed inglobati in resina in laboratorio, hanno confermato quanto osservato dagli spettri LIPS: la presenza di rame, calcio e silicio. La microanalisi EDX puntuale, condotta su un cristallo del pigmento ben riconoscibile nella sezione analizzata, mostra i segnali del silicio, calcio e rame, il cui rapporto atomico percentuale è in accordo con la formula chimica della cuprorivaite ($\text{CaO CuO } 4\text{SiO}_2$), come detto minerale caratteristico del blu egiziano. La strumentazione Raman portatile utilizzata per queste misure, con un laser a 785 nm, non permette l'identificazione delle bande molecolari caratteristiche del blu egiziano. Queste, in accordo con quanto riportato in letteratura, sono coperte dal forte segnale dovuto alla fluorescenza del pigmento che è particolarmente intensa in questo range spettrale.

- *Pigmenti bianchi*

All'interno del cubicolo il colore bianco è stato utilizzato come pigmento specifico/a se stante soltanto nella decorazione geometrica, dove serve a rimarcare la sequenza dei rinfasci, o in funzione di lumeggiatura, sovrapposto ad altre stesure di colore.

Gli spettri Raman ottenuti analizzando le campiture bianche permettono di identificare il carbonato di calcio (CaCO_3) in superficie, grazie alle sue bande molecolari caratteristiche (a 280 cm^{-1} e 1088 cm^{-1}).

Negli spettri LIPS è riconoscibile la presenza di calcio quale elemento caratterizzante del pigmento bianco. Il segnale di questo elemento è evidente fin dai primi impulsi laser, ciò indica che il suo contributo non è dato soltanto dall'intonaco, ma anche dallo strato pittorico.

Quanto osservato porta ad ipotizzare che tutte le aree bianche siano state realizzate con carbonato di calcio, uno dei pigmenti più utilizzati nella realizzazione di dipinti murali.

Dalle analisi condotte sui pigmenti, si ricava, inoltre, un'informazione particolarmente significativa se associata agli studi storico artistici e iconografici che riguardano il cubicolo “dei fornai”. La presenza di colori mescolati fra loro o con aggiunta di calcite denota un'ampiezza della gamma cromatica assolutamente inusitata rispetto agli standard registrati nella pittura catacombale. Il dato conferma, quindi, l'ipotesi avanzata circa l'assegnazione del cubicolo ad una committenza socialmente elevata e con discreta disponibilità economica.

3. Ottimizzazione della pulitura laser

In seguito alla sperimentazione iniziale è stata programmata la pulitura laser di tutta la decorazione murale del cubicolo, portata a termine alla fine del 2011 utilizzando due sistemi laser Nd:YAG con emissione a 1064 nm : un laser *Short Free Running* (SFR, durata impulso variabile fra $30 \mu\text{s}$ e $120 \mu\text{s}$) e un laser *Long Q-Switched* (LQS, impulsi multipli di durata di 120 ns distanziati fra loro da $40 \mu\text{s}$, singolo LQS1, doppio LQS2 o triplo LQS3 in relazione all'energia selezionata: 130 mJ , 250 mJ , 380 mJ). Nel corso dell'attività di cantiere è stato testato anche un nuovo sistema laser sviluppato nell'ambito del progetto TEMART da IFAC-CNR ed El.En. S.p.a. e commercializzato da quest'ultima ditta produttrice. Tale strumentazione consente di modificare elettronicamente le caratteristiche temporali del fascio emesso ($\lambda = 1064 \text{ nm}$), combinando i due regimi SFR e LQS in un'unica apparecchiatura. Questa macchina, mettendo contestualmente a disposizione i due differenti sistemi, che, proprio nell'alternanza della loro applicazione hanno dato risultati insperati in questo cantiere, offre all'operatore grandi potenzialità. Grazie alla sigillatura della testa laser, questa strumentazione, ha dimostrato un'elevata affidabilità anche nelle estreme condizioni microclimatiche degli ambienti ipogei. [5]

Il recupero della leggibilità della decorazione è stato ottenuto grazie alla messa a punto di un trattamento laser differenziato in funzione della natura del substrato pittorico e della stratificazione superficiale. Inizialmente la scelta del sistema laser da utilizzare era stata determinata principalmente dallo spessore delle concrezioni, preferendo il laser SFR nei casi in cui la superficie presentava concrezioni pluristratificate, mentre il laser LQS era stato selezionato per asportare concrezioni e patine scure più sottili (Fig. 5). La messa appunto del protocollo di pulitura è esposta dettagliatamente al paragrafo 4.1 degli atti APLAR 3, dove vengono descritti i parametri utilizzati per affrontare le differenti cromie. Durante l'esecuzione dei lavori si è però constatato che sulla maggioranza delle superfici pittoriche, e non limitatamente a zone circoscritte, il livello di pulitura fi-

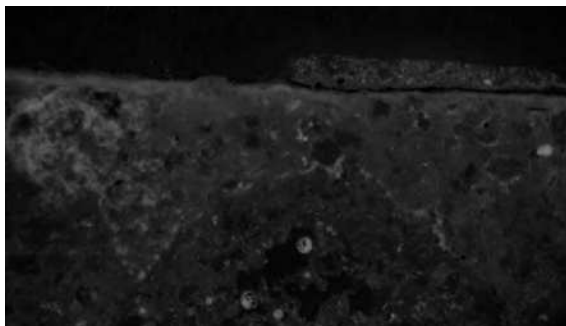


Fig. 5: Cubicolo “dei fornai”. Sezione sottile al microscopio ottico relativa ad una transizione di pulitura ottenuta con laser SFR.



Fig. 6: Cubicolo “dei fornai”, particolare della parete destra del corridoio durante la pulitura. La prima immagine mostra il dipinto prima dell’inizio del restauro. Sulla superficie sono evidenti concrezioni calcaree scure e chiare di vari spessori. L’immagine centrale presenta il medesimo particolare dopo una prima efficace ablazione con laser SFR, che ha rimosso lo strato offuscante; sull’abito è invece presente un nuovo primo saggio eseguito con laser LQS. L’ultima immagine, infine, dimostra il livello raggiunto dopo la pulitura con laser LQS evidenziando la rimozione di un ulteriore sottile strato grigio presente ancora sullo sfondo.



Fig. 7: Cubicolo “dei fornai”, calotta emisferica orientale. Scena del collegio apostolico, prima del restauro. Le condizioni conservative del margine destro erano nettamente peggiori rispetto a quelle riscontrate sul lato sinistro.

nale poteva essere raggiunto soltanto con un assottigliamento graduale della patina scura. Per ottenere il risultato ottimale è stato necessario, quindi, programmare un uso combinato dei due sistemi laser: un trattamento preliminare con laser Nd:YAG *SFR* a fluenza più alta (compresa fra 2.1 J/cm² e 7.1 J/cm²), per poi rifinire, laddove necessario, con laser *LQS* (*LQS1*, fluenze impiegate comprese fra 0.7 J/cm² e 1.3 J/cm²).

Di particolare interesse, a tale proposito, sono le immagini relative ai dipinti della parete destra del corridoio centrale, chiaramente esplicative del trattamento combinato. Dopo una prima efficace ablazione con laser *SFR* (fluenze operative comprese fra 2.1 J/cm² e 5.6 J/cm²), che aveva rimosso lo strato offuscante tanto da rendere visibile la pittura sottostante, la pulitura era stata considerata soddisfacente. Soltanto in secondo momento si è costatato che con il laser *LQS* era possibile abbassare ulteriormente il livello raggiunto senza inficiare la pellicola pittorica, rimuovendo un ulteriore sottile strato grigio che, evidentemente ma non apparentemente, era ancora presente sulla superficie (*Fig. 6*). Ciò ha migliorato la lettura dei particolari iconografici della scena figurata riconferendo alle cromie la naturale brillantezza. La pulitura, in questo caso, è stata eseguita lavorando ad una fluenza pari a 0.7 J/cm² e con frequenza di ripetizione compresa fra 3 e 5 Hz.

L'uso combinato delle due tipologie laser è stato sfruttato per la pulitura di quasi tutte le pareti. I parametri utilizzati sono stati variati in base alla superficie affrontata, spesso caratterizzata da una forte eterogeneità anche a breve raggio.

È il caso della calotta emisferica orientale, in cui le condizioni conservative del margine destro erano nettamente peggiori rispetto a quelle riscontrate nel lato sinistro (*Fig. 7*).

Le zone figurate dell'area sinistra della calotta sono state pulite utilizzando due regimi temporali del laser *LQS*. Con il primo livello di pulitura (*LQS2*, fluenza pari a 1.3 J/cm², frequenza di ripetizione di 3 Hz) si è ottenuto il distacco netto della concrezione superficiale, in questo caso piuttosto spessa e biancastra, dallo strato sottostante, lasciando sulla pellicola pittorica ancora un evidente livello di deposito scuro (*Fig. 8*), che è stato rimosso nel secondo passaggio (*LQS1*, fluenza compresa fra 0.5 e 1.1 J/cm², frequenza di ripetizione variabile fra 2 e 3 Hz). Al di sotto dei depositi la pellicola pittorica si è rivelata perfettamente integra, conservando anche le lumeggiature ottenute con passaggi di pennellate in tonalità più chiara, distinti e ben riconoscibili.

Il lato destro della calotta Est presentava cadute e mancanze di porzioni della decorazione ed una situazione conservativa sicuramente più compromessa, con presenza di concrezioni di spessore ed estensione maggiori. Anche in questo caso è risultato più efficace eseguire una pulitura in due fasi, ma diversamente dal lato sinistro, è stato eseguito un primo passaggio con laser *SFR* (fluenze comprese fra 2.1 J/cm² e 3.6 J/cm², frequenza di ripetizione 3 Hz), per rimuovere i depositi e le concrezioni più spesse presenti su questa porzione d'intonaco e, successivamente, dove è stato ritenuto necessario, la pulitura è stata rifinita con un passaggio con laser *LQS* (*LQS1* con fluenza compresa fra 0.5 e 1.1 J/cm², frequenza di ripetizione 2 o 3 Hz) (*Fig. 9*).

La pulitura di tutto l'ambiente, dunque, è avvenuta calibrando, di volta in volta, i parametri delle due apparecchiature utilizzate in base alle specifiche necessità e alle particolarità concrezionali incontrate. In poche aeree è stato sufficiente un unico passaggio, mentre, nella maggioranza dei casi, soltanto la combinazione e i successivi interventi con regimi temporali diversi e/o fluenze crescenti hanno permesso di raggiungere il grado di pulitura ottimale (*Figg. 10, 11*).

Nella parete di fondo del corridoio centrale, l'unica non scavata nel tufo ma supportata da un muro in mattoni, la pulitura dello sfondo chiaro ha messo in luce un andamento delle concrezioni



Fig. 8: Cubicolo “dei fornai”, calotta emisferica orientale. Scena del collegio apostolico, particolare della zona figurata di sinistra durante la pulitura con il laser LQS. Nella prima immagine si evidenzia il momento dell’irraggiamento, nella seguente il momento del distacco netto della concrezione superficiale dallo strato sottostante (LQS2) e nell’ultima immagine il deposito scuro ancora presente sulla pellicola pittorica, che sarà poi eliminato con un secondo passaggio di pulitura (LQS1).



Fig. 9: Cubicolo “dei fornai”, calotta emisferica orientale. Scena del collegio apostolico a pulitura quasi ultimata.

che seguiva le sagome dei mattoni sottostanti. Proprio in tale riquadro è dipinta una scena che prevede la rappresentazione di un grande recipiente costituito da doghe di legno (il *modius* = contenitore per il grano); l’andamento delle concrezioni coincideva con il perimetro delle assi di legno, rendendo difficoltosa la distinzione tra deposito concrezionale e particolare decorativo tanto che, per prudenza, si è preferito non ostinarsi in una pulitura che avrebbe potuto compromettere la salvaguardia dell’opera originale (*Fig. 12*).

L’ultima area sottoposta a restauro è stata la decorazione della zoccolatura delle pareti realizzata a finti marmi. In fase progettuale, era stato previsto di affrontare questa zona solo con metodologie tradizionali, non presentando depositi di “patina nera” o concrezioni calcaree particolarmente evidenti. La modifica al piano di lavoro è stata apportata a fronte delle esperienze acquisite nel corso del cantiere e degli inattesi risultati raggiunti. Infatti, anche queste superfici sono risultate essere offuscate da un diffuso ma sottile strato concrezionale che abbassava di tono, senza occultarli,



Fig. 10: Cubicolo “dei fornai”, calotta emisferica occidentale.
Scena pastorale, prima del restauro.



Fig. 11: Cubicolo “dei fornai”, calotta emisferica occidentale.
Scena pastorale, dopo il restauro.

i particolari della decorazione. In queste aree l'effetto del solo regime *LQS1* (fluenze comprese tra 0.5 e 2.0 J/cm², frequenza di ripetizione di 3 o 4 Hz) si è rivelato soddisfacente.

Infine, ampie porzioni delle pareti dell'ingresso erano ricoperte da un tenace strato di residui terrosi, probabilmente percolati dal vicino lucernario soprastante, che, una volta depositatisi sulla superficie dipinta avevano completamente occultato la decorazione sottostante. Anche in questo caso l'ablazione laser, ottenuta con passaggi ripetuti del laser *LQS*, ha riportato alla luce particolari decorativi non percepibili prima dell'inizio del cantiere. Gli spessi depositi sono stati rimossi strato per strato: i più superficiali soltanto tramite l'azione del laser *LQS1* (fluenza di 0.7 J/cm², frequenza di ripetizione variabile fra 3 e 5 Hz), mentre la maggior parte di quelli residui sono stati eliminati con un secondo passaggio effettuato con il regime *LQS2* (fluenza di 3.6 J/cm², frequenza di ripetizione di 2 o 3 Hz). Gli strati più tenaci, infine, sono stati ablati sfruttando il triplo impulso *LQS3* con fluenze variabili da 3 J/cm² fino ad un massimo di 5.5 J/cm², con frequenza di ripetizione di 1 o 2 Hz.



Fig. 12: Cubicolo “dei fornai”, parete di fondo del corridoio centrale, supportata da un muro in mattoni. La pulitura dello sfondo chiaro ha messo in luce un andamento delle concrezioni che seguiva le sagome dei mattoni sottostanti. Per salvaguardare alcuni particolari dipinti del *modius* si è preferito evitare la pulitura nei punti in cui risultava difficile la distinzione tra deposito concrezionale e particolare decorativo.

La possibilità di lavorare con il laser *LQS* con impulsi multipli si è dimostrata molto vantaggiosa durante le fasi di pulitura dell'intero cubicolo. I regimi temporali *LQS2* e *LQS3*, caratterizzati da un comportamento intermedio fra *LQS1* e *SFR*, permettono margini operativi maggiori nel caso in cui gli effetti fotomeccanici o fototermici implicati da questi ultimi siano invasivi. Infatti, nonostante le fluenze operative siano inferiori a quelle del laser *SFR*, l'efficienza e l'efficacia del processo risultano paragonabili [6].

4. Particolari della tecnica esecutiva rivelati dopo il trattamento laser

Grazie all'insperato livello di pulitura raggiunto con l'impiego della strumentazione laser, sulla superficie pittorica sono emersi particolari decorativi che hanno rivelato elementi della tecnica esecutiva prima assolutamente non percepibili.

Da un'attenta osservazione è risultato che le scene figurate poste all'interno del fregio continuo, che si snoda tra la sommità degli arcosoli e la base delle calotte absidali, risultano dipinte al di sopra di un precedente impianto decorativo. Il progetto originario, infatti, sembrerebbe aver previsto una differente organizzazione degli spazi, con precise delimitazioni costituite da fasce rosse su campitura chiara, evidenziando esattamente il perimetro rettangolare di sepolture a loculo, che non sono mai state scavate (*Figg. 13, 14*). La variante al programma decorativo ha portato alla scialbatura, realizzata con una malta chiara e fluida, del precedente impianto, al di sopra della quale è stato dipinto il fregio figurativo. Tale scoperta è stata accertata anche confrontando la decorazione presente in due cubicoli adiacenti a quello “dei fornai”, dove il progetto originario è rimasto inalterato o chiaramente percepibile. Anche in uno di questi due cubicoli, infatti, si può notare l'apporto di una modifica all'impianto decorativo. Evidentemente, secondo le modalità di preparazione degli ambienti funerari di questa regione della catacomba di Domitilla, i cubicoli venivano scavati e

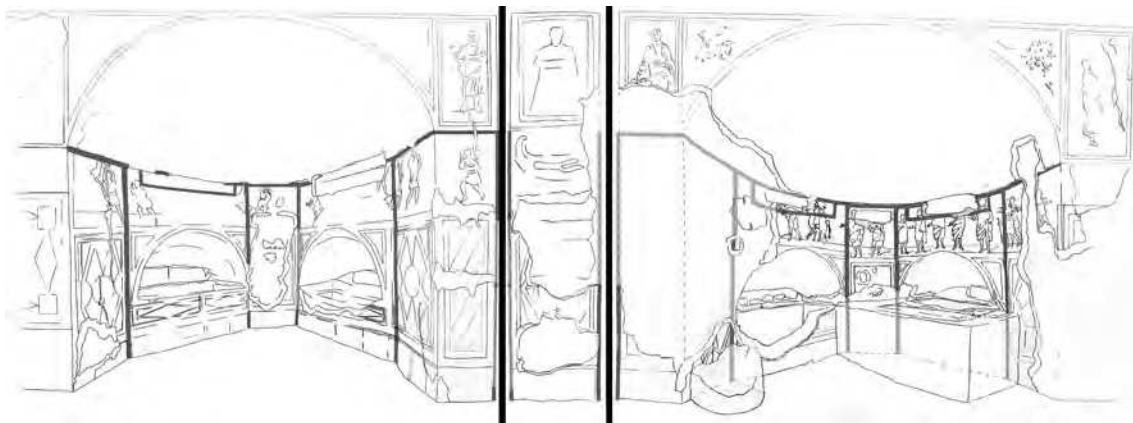


Fig. 13: Cubicolo “dei fornai”, grafico con evidenziazione del primo impianto decorativo messo in luce dalla pulitura laser. Si nota una differente organizzazione degli spazi, spartiti da precise delimitazioni costituite da fasce rosse su campitura chiara.



Fig. 14: Cubicolo “dei fornai”, fregio. Particolare del primo impianto decorativo. In questa immagine è particolarmente evidente il perimetro rettangolare di una sepoltura a loculo che non è stata mai scavata e la successiva scialbatura della superficie, come base per la nuova decorazione.

quindi preventivamente preparati tramite la stesura di intonaci bianchi scompartiti da maglie geometriche di fasce in ocra rossa; soltanto una volta assegnati ai precipui committenti veniva realizzata la decorazione finale, eseguita secondo la volontà dei proprietari.

L'analisi delle superfici, inoltre, porta a supporre che tra queste due fasi decorative potesse passare un certo lasso di tempo, sufficiente a far sì che la superficie venisse ricoperta da un primo sottile strato di concrezione carbonatica scura. È infatti evidente, nel caso del cubicolo ridecorato, che la scialbatura successiva è stata stesa su un intonaco non più bianco, ma già virato su tonalità grigie da imputare alla cosiddetta “patina nera”.

L'osservazione del fenomeno si è rivelata quanto mai utile anche per la definizione del livello di pulitura da raggiungere nel caso del cubicolo “dei fornai”, permettendoci di evitare accanimenti in fase di restauro alla ricerca di un tono bianco del fondo assolutamente non realistico.

5. Conclusioni

Il trattamento laser, al contrario delle tecniche meccaniche e chimiche testate durante la fase preliminare del cantiere di restauro, ha permesso di recuperare completamente la leggibilità dei dipinti murali del cubicolo. L'approfondita osservazione dei dettagli della decorazione pittorica riportati alla luce, altrimenti non percepibili, ha condotto alla comprensione della tecnica esecutiva oltre che del progetto iconografico originario.

Gli ottimi risultati esposti sono stati raggiunti ottimizzando il trattamento laser in base alle caratteristiche dello strato pittorico e della concrezione superficiale affrontati. In generale, per ottenere il livello di pulitura finale è stato necessario combinare in maniera opportuna l'effetto dei diversi regimi temporali del laser Nd:YAG a 1064 nm (*SFR, LQS1, LQS2, LQS3*).

Rispetto ai presupposti elaborati per l'istituzione del cantiere pilota si può affermare che la sperimentazione della pulitura laser nel caso di concrezioni calcaree annerite ha raggiunto risultati estremamente positivi. All'evidente efficacia si unisce anche un elevato grado di controllo con la possibilità di procedere con progressivi e puntuali livelli di pulitura, aumentando enormemente la sicurezza dell'intervento. Questo lavoro, in conclusione, conferma ancora una volta la validità del trattamento laser di pitture murali basato sulle potenzialità di laser Nd:YAG a diversa durata di impulso.

Note e bibliografia

- [1] M.G. PATRIZI, B. MAZZEI, M. MASCALCHI, S. SIANO, *Rimozione laser di pellicole scure su dipinti murali in ambiente ipogeo: il caso di studio del cubicolo "dei fornai" nelle catacombe di Domitilla a Roma*, in Atti del convegno APLAR 3, Bari 18-19 luglio 2010, Saonara (PD), 2010, pp. 73-83.
- [2] B. MAZZEI, *Riflessioni e approfondimenti su alcuni recenti interventi di restauro sulle pitture murali*, "Rivista di Archeologia Cristiana", 86, 2010, pp. 81-98.
- [3] N. MARCHETTINI, A. ATREI, F. BENETTI, N. PROIETTI, V. DI TULLIO, M. MASCALCHI, I. OSTICOLI, S. SIANO, I. TURBANTI MEMMI, *Non-destructive characterization of a XIV century painting by means of molecular spectroscopy and unilateral NMR*, Surface Engineering. DOI: 10.1179/1743294412Y.0000000065.
- [4] J. AGRESTI, A.A. MENCAGLIA, S. SIANO, *Development and application of a portable LIPS system for characterising copper alloy artefacts*, "Analytical and Bioanalytical Chemistry", 395 (7), 2009, pp. 2255-2262.
- [5] Come concordato con la Ditta produttrice, dopo un primo periodo di prova nel quale sono state prese le stesse precauzioni di manutenzione che vengono osservate per l'impiego in ambiente ipogeo di altre strumentazioni (copertura, inscatolamento, sali per l'umidità nell'imballaggio quotidiano, ecc.), si sono progressivamente diminuiti gli involucri di copertura e di imballaggio quotidiano fino a lasciare l'apparecchiatura, anche per diverse giornate, spenta e non protetta da involucri, sottoposta quindi ad effetti dannosi, quali il fenomeno della condensa, determinati da condizioni di umidità costante superiore a 90%. Anche dopo una decina di giorni di mancato impiego, l'apparecchiatura ha ripreso a lavorare senza presentare alcun problema.
- [6] S. SIANO, J. AGRESTI, I. CACCIARI, D. CIOFINI, M. MASCALCHI, I. OSTICOLI, A.A. MENCAGLIA, *Laser cleaning in conservation of stone, metal, and painted artifacts: state of the art and new insights on the use of the Nd:YAG lasers*, "Applied Physics A", 106 (2), 2012, pp. 419-446.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare i restauratori Antonella Basile Ceravolo, Saverio Ceravolo e Vittoria Albini che hanno collaborato alla riuscita del cantiere dimostrando, in un anno e mezzo di lavoro, grande entusiasmo ed infinita pazienza. Un ringraziamento doveroso va alla ditta El.En., in particolare nella persona del Dr. Alessandro Zanini, ed ai tecnici dell'azienda, per la loro cortesia, disponibilità ed il supporto logistico. Il presente lavoro ha beneficiato del supporto del progetto TEMART, finanziato dalla Regione Toscana (POR CREO FESR 2007 - 2013).