

**Moderne tecnologie per il monitoraggio  
del comportamento meccanico e deformativo  
del dipinto su tavola**

*La Gioconda*

**durante la sua esposizione  
nel Museo del Louvre**

**di Luca Uzielli, Linda Cocchi, Paola Mazzanti**

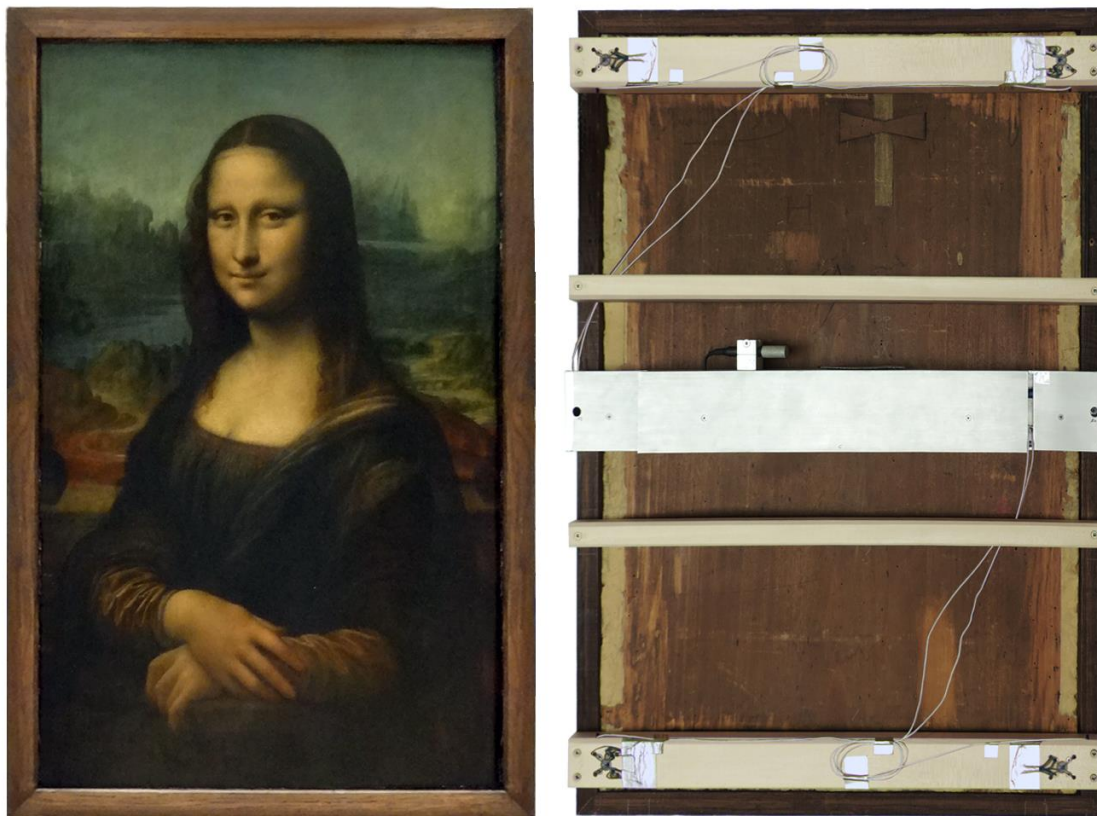
**19 febbraio 2014**

### *La Tecnologia del Legno e i Dipinti su Tavola*

A partire dalla fine degli anni '80, nell'ambito del Laboratorio di Tecnologia del Legno (attualmente afferente al Dipartimento GESAAF) dell'Università di Firenze è stato costituito un Gruppo di Ricerca che si occupa particolarmente dello studio e della conservazione dei manufatti lignei di interesse storico artistico ed archeologico.

Fra varie altre attività i Tecnologi del legno fiorentini partecipano fin dal 2004 a un gruppo internazionale di ricerca che sta curando lo studio e la periodica verifica dello stato di conservazione del supporto ligneo della "Gioconda", di Leonardo da Vinci, nel Museo del Louvre. La Gioconda è infatti dipinta su un'unica tavola di legno di Pioppo (più esattamente si tratta di Gattice, il cui nome scientifico è *Populus alba* L.) di circa 79 x 53 cm, spesso circa 13 mm.

La tavola dipinta (Fig. 1) è contenuta in un telaio (*châssis-cadre*), che a sua volta viene inserito nella grande cornice intagliata visibile dal pubblico, ed è mantenuta leggermente forzata contro lo *châssis-cadre* da quattro traverse di legno che appoggiano contro la faccia posteriore. Una fessura lunga circa 11 centimetri che parte dal bordo superiore e raggiunge la fronte della Gioconda, attraversando l'intero spessore della tavola, risale probabilmente ai primi decenni di esistenza del dipinto.



*Figura 1 - Vista del fronte e del retro della tavola su cui è dipinta la Gioconda, montata nel proprio telaio (*châssis-cadre*). Sul retro si vedono le quattro traverse di legno di Acero (due più larghe e due più strette) che mantengono la tavola dipinta leggermente forzata contro il telaio, e il profilato di alluminio che contiene e supporta sia i deformometri, sia le apparecchiature elettroniche per la registrazione e la trasmissione dei dati. Alle estremità della traversa superiore e di quella inferiore si notano i segni della presenza delle quattro mini-celle di carico che misurano in tempo reale le forze esercitate dalle traverse sulla tavola.*

### *Studio del comportamento igromeccanico de La Gioconda*

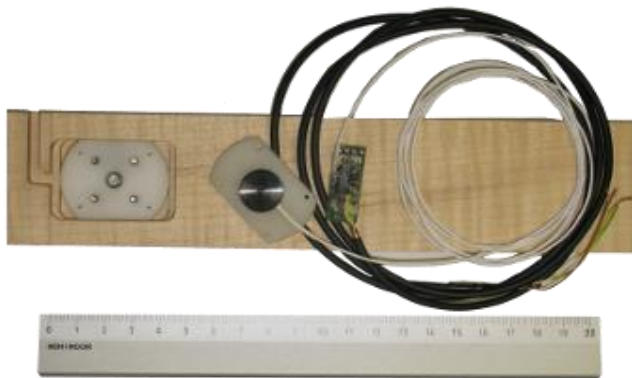
I principali obiettivi di questo studio sono: valutare se il microclima mantenuto nella vetrina espositiva possa considerarsi ottimale ai fini della conservazione del dipinto, valutare il rischio di propagazione della fessura, suggerire eventuali miglioramenti per il telaio, mettere a punto la modellazione matematica del comportamento igromeccanico del sistema tavola-telaio, ottimizzare le procedure di monitoraggio dello stato di conservazione della tavola.

Per svolgere questo studio il prof. Luca Uzielli ed i suoi collaboratori dell'Università di Firenze hanno progettato e realizzato un sistema automatico che misura e registra con continuità l'andamento nel tempo delle deformazioni e delle forze esercitate contro il telaio che la contiene, in conseguenza delle piccole ma inevitabili fluttuazioni dell'umidità dell'aria nella vetrina climatizzata. Le apparecchiature di misura e di registrazione dei dati sono installate con modalità totalmente non invasive sullo *châssis-cadre*, in corrispondenza del retro della tavola dipinta.

I risultati di queste misurazioni automatiche, assieme a quelli di misurazioni manuali eseguite ogni anno, in occasione dell'apertura della vetrina, consentono di tenere sotto controllo lo stato di deformazione e di sollecitazione meccanica della tavola dipinta, e di calibrare un modello matematico che le rappresenti sempre più accuratamente; in tal modo è anche possibile simulare in modo affidabile gli stati tensionali e le deformazioni che potrebbero manifestarsi in condizioni ambientali diverse, derivanti ad esempio da differenti regolazioni dei parametri climatici della vetrina, oppure da eventi eccezionali imprevedibili.

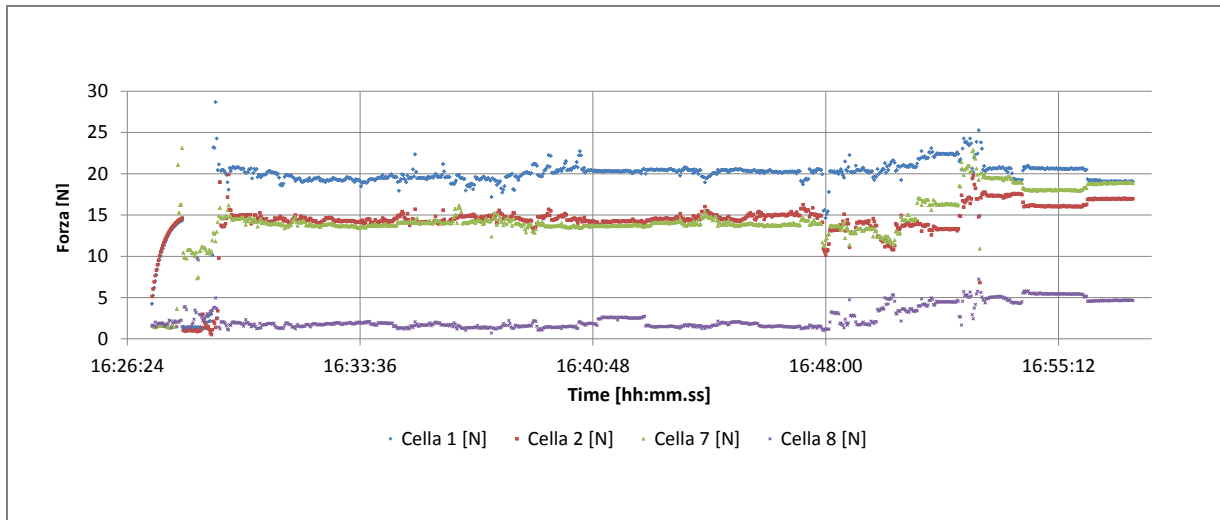
### *Applicazione dei sensori Deltatech e primi risultati*

Nel corso della più recente apertura, avvenuta il 22 ottobre 2013, il sistema dei sensori è stato migliorato ed ampliato con quattro mini-celle di carico realizzate dalla ditta italiana Deltatech; tali celle sono inserite nelle traverse di legno che mantengono la tavola dipinta leggermente forzata contro lo *châssis-cadre*, e misurano in tempo reale le forze (complessivamente dell'ordine di qualche decina di Newton) esercitate dalle traverse stesse sulla tavola (Fig. 2).



*Figura 2 - "Esploso" del montaggio di una delle mini-celle di carico, alloggiata in una cavità ricavata nella traversa di legno; il contatto fra la mini-cella e il retro non dipinto della tavola avviene attraverso un elemento oscillante di Teflon (chimicamente inerte e a basso attrito), che adatta automaticamente la propria inclinazione a quella della superficie della tavola.*

Le celle Deltatech e la relativa elettronica, messe a punto dalla Ditta in base alle specifiche richieste per la particolare installazione, sono state scelte tenendo conto delle loro limitate dimensioni, facilità di installazione, robustezza, stabilità della misura, basso consumo, costo ragionevole. Controlli preliminari e prime verifiche sul posto (Fig. 3) hanno confermato l'affidabilità delle misure effettuate con tali celle; al termine del 2014 sarà possibile ottenere i primi risultati raccolti dal sistema di monitoraggio.



*Figura 3 - Grafico illustrante le prime misure effettuate dopo avere montato sul retro dello châssis-cadre le traverse strumentate con le mini-celle di carico. Le forze esercitate dalle traverse sui quattro angoli della tavola dipinta sono stabili, comprese fra circa 2 Newton e circa 24 Newton; i valori misurati dalle diverse celle risultano assai diversi tra loro, a causa della complessa forma della tavola.*