

Studio delle proprietà meccaniche di consolidanti utilizzati per il restauro di beni policromi mobili

Arianna Colombo^{1,3}, Debora Minotti⁴, Marion Mecklenburg²,

Paolo Ceronzi¹, Matteo Rossi Doria⁴

Introduzione

Questa ricerca si inserisce all'interno di un progetto più ampio sviluppato dal "Gruppo Chimico" del Cesmar⁷, volto allo studio chimico-fisico dei più noti materiali consolidanti utilizzati nel restauro dei beni policromi mobili.

In particolare, questa ricerca è stata svolta presso il laboratorio di ingegneria meccanica dello Smithsonian Conservation Institution a Washington DC, sotto la supervisione del professore Marion Mecklenburg, grazie al quale è stato possibile studiare questi materiali anche dal punto di vista meccanico.

La ricerca è stata articolata in due fasi: in un primo momento sono stati studiati i singoli prodotti, preparati sotto forma di film; in una seconda fase, invece, si è valutata la variazione di comportamento meccanico di alcuni frammenti di dipinti reali, in seguito a consolidamento con gli stessi materiali. Infatti, sebbene la prima parte dello studio sia stata svolta nell'ottica di svincolarsi dal materiale su cui sono state fatte le stesure, la seconda fase è stata rivolta proprio alla comprensione dell'influenza del substrato sulle proprietà e caratteristiche finali dei diversi materiali consolidanti.

I materiali oggetto di studio sono i tre tipi di colle animali: di pelli, di coniglio e di storione, successivamente anche addizionate con altri prodotti come amido di frumento, Aquazol 200[®] e Tylose[®], e alcuni tra i più noti adesivi di origine sintetica: il Paraloid B72[®], il Plexisol P550[®], l' Aquazol 200[®], il Klucel G[®], il Beva 371[®], e – tra le dispersioni acquose – il Plextol B500[®], l'Acril33[®], l'Akeogard AT35[®].

I campioni utilizzati per svolgere la prima fase dello studio sono stati preparati in Italia, un mese prima dell'arrivo allo *Smithsonian Institution*, e ottenuti sciogliendo o diluendo i prodotti in un opportuno solvente, e stendendo la soluzione su un foglio di poliestere (Mylar[®]), in modo da ottenere dei film per evaporazione del solvente. I campioni dei prodotti in dispersione acquosa, invece, sono stati ottenuti a partire dal prodotto non modificato, per fenomeni di evaporazione dell'acqua e coalescenza delle micelle di resina successivi alla stesura¹. I film sono stati staccati dal substrato di plastica, tagliati in strisce di circa 10 cm x 1 cm, a loro volta inserite nell'apparato sperimentale per la misura di trazione di tipo carico-deformazione.

Ma cosa si intende per "carico"? E per "deformazione"?

Il carico (in inglese, *stress*) è la forza sostenuta dal materiale, in seguito – in questo caso - a trazione, rispetto alla sezione su cui essa agisce (nel nostro caso data dalla larghezza della striscia di campione per lo spessore). Quello che si ottiene è una pressione che è dell'ordine di grandezza dei MegaPascal (10⁶ Pascal).

La deformazione (in inglese, *strain*) è data, invece, dal rapporto tra la variazione di dimensione del campione e la lunghezza iniziale; per questa ragione la deformazione è una grandezza adimensionale, che può essere riportata anche in percentuale. In gene-

¹ Cesmar⁷ – Centro per lo Studio dei Materiali per il Restauro, Verona

² Ricercatore senior dello Smithsonian Institution, Washington DC

³ Dipartimento di Scienza dei Materiali, Università degli Studi di Milano-Bicocca, Milano

⁴ Restauratore privato

re, per questo test, non è mai stato superato il 4% di deformazione, in quanto si ritiene difficile che un dipinto reale sia sottoposto a deformazioni a trazione superiori.

In una curva carico-deformazione di un materiale, in genere, si possono notare due regioni: una prima zona, detta elastica, in cui la dipendenza del carico dalla deformazione è lineare; in questo caso la deformazione del campione è ancora reversibile. Oltre questa regione, a cui corrisponde in genere un massimo relativo della curva, il materiale subisce una deformazione permanente, che prende il via con il cosiddetto fenomeno della strizione o snervamento; si parla di regione plastica e di deformazione plastica.

Ecco allora che, si definisce Modulo Elastico la pendenza iniziale della curva, in corrispondenza della regione elastica. In particolare, tanto più è bassa questa pendenza, tanto più il materiale sarà morbido; in caso contrario, rigido o duro.

La tenacità di un materiale, invece, è data dall'area sottesa alla curva, tale per cui tanto più piccola è quest'area, tanto più il materiale sarà fragile; in caso contrario, forte, resistente, tenace².

Dal punto di vista sperimentale, il test è stato effettuato tirando per la lunghezza il campione ad una velocità lenta e costante (circa 2 micrometri/secondo), e misurando il carico da esso sostenuto, in modo da lasciare al materiale il tempo di rilassarsi, e di tornare in condizioni di equilibrio. In particolare, una volta bloccata la striscia di campione tra due morsetti, la misura è stata svolta ruotando la manopola di trazione di un valore costante, in modo da deformare il materiale in modo uniforme, e registrando - dopo 30 secondi - il valore di carico sostenuto dal campione (vedi figura 20 a pagina 84 di questo volume).

Anche per lo studio dei dipinti reali è stata svolta la medesima procedura di preparazione dei campioni: i dipinti sono stati tagliati in strisce di circa 12 cm x 1 cm, nella direzione dell'ordito e della trama, a loro volta sottoposte a misure meccaniche del tipo carico-deformazione, prima e dopo il consolidamento con alcuni dei materiali oggetto di studio. Per questa fase, il consolidamento è stato svolto direttamente nei laboratori dello *Smithsonian Institution*, per cui le proprietà meccaniche dei campioni di dipinti, riportate nei grafici, sono relative ad un intervento svolto circa una o due settimane prima. A tal proposito, si intende sottolineare che questo intervento non è stato svolto nell'ottica di cercare il consolidante "ideale" per questi dipinti, ma la scelta è caduta su alcuni dei materiali oggetto di studio, proprio per analizzarne le proprietà meccaniche in seguito ad applicazione.

Dal momento che i dipinti sono caratterizzati da numerosi strati di diverso spessore, e che si compenetrano l'uno con l'altro, in ordinata - al posto del carico - è stato riportato il rapporto tra la forza sostenuta dalla striscia di campione di dipinto e la sua larghezza.

Tutte le misure sono state effettuate a temperatura e umidità relativa controllate e costanti intorno ai parametri ambientali (23°C e 50% U.R.).

Studio sulla resistenza meccanica delle colle animali e "addensanti"

La voglia, l'interesse di eseguire uno studio sulle colle animali nasce sostanzialmente dalla mancanza di ricerche, di approfondimenti su di esse; pochi sono gli studi che ci permettono di comprendere effettivamente le loro proprietà, le loro caratteristiche, i loro limiti.

La colla animale è un materiale chimicamente complesso, deriva da vari tessuti connettivi degli animali (cartilagini, vesciche, ossa, ecc.) ed è principalmente costituita da sostanze proteiche, tra le più importanti per le proprietà tecnologiche è il collagene.

In base al grado di purezza si possono distinguere in colle forti, con una quantità di impurità maggiore e minore peso molecolare medio; gelatine, costituite quasi esclusivamente da collagene ad alto peso molecolare medio.

C'è inoltre da sottolineare che questi materiali, negli ultimi anni, sono stati soggetti a forti cambiamenti produttivi; infatti, molti stabilimenti di fabbricazione sono stati chiusi, determinando un cambiamento della produzione e dei materiali stessi. Spesso

si ha il sospetto che il materiale che utilizziamo sia differente da quello sempre impiegato, avendo di conseguenza dei comportamenti fisici diversi.

Perché eseguire dei test meccanici sulle colle animali? I motivi per cui è stato intrapreso questo studio è stato soprattutto per fornire dei dati del tutto assenti su questi materiali di intervento, inoltre chiederci come un materiale si comporta sotto tensione meccanica e quanto la sua interazione comporti delle variazioni all'interno di un dipinto, sono domande a cui bisognerebbe trovare una risposta.

I materiali impiegati per questo studio sono le colle più comuni e più facilmente utilizzate in uno studio di restauro; colla di coniglio, colla di pelli, colla di vescica natatoria di storione. Per il tempo a nostra disposizione non è stato possibile eseguire più diluizioni ma è stata scelta una sola per ogni colla e poi confrontate, 4% (1:25).

Dopo aver testato le colle abbiamo pensato di verificare cosa potesse avvenire a livello meccanico se insieme ad esse venissero mescolati altri materiali, questo per comprendere se le eventuali combinazioni potessero "migliorare" o meno alcuni aspetti caratteristici del collante animale, idea non del tutto originale visto le molteplici ricette in cui per fare diminuire il grado di rigidità a favore di una maggiore elasticità venivano (e vengono tuttora) addizionate alla colla sostanze, come il miele e la melassa.

Tra i materiali sono stati scelti: amido di frumento al 10% in rapporto alla colla 1:1; Aquazol 200 al 4% in rapporto 1:2, Tylose 1% in rapporto 1:3.

Come già accennato nell'introduzione, per eseguire i test meccanici (stress/strain) sono stati eseguiti due tipologie differenti di campioni, nella prima fase sono stati realizzati degli strati filmogeni ottenuti dalla stesura degli adesivi su dei fogli di Mylar[®], in modo da ottenere delle misure meccaniche sul materiale "puro" senza che l'interazione con altri materiali alterasse le misure.

Nella seconda fase, al fine di poter usufruire di una valutazione applicativa su campioni reali gli stessi materiali sono stati testati su tre differenti frammenti ricavati da dipinti con caratteristiche costitutive profondamente diverse.

Il primo dipinto databile intorno al XVIII sec. "Angeli" tecnica utilizzata ad olio, il secondo del XIX sec. ad olio, "Elementi decorativi" caratterizzato da strati preparatori molto spessi e l'ultimo del XX sec. a tempera, "Quinta scenografica", costituito da strati molto sottili.

Tutti i materiali sono stati testati ad una temperatura ed umidità relativa costanti, probabilmente a temperature ed umidità relativa variabili il comportamento dei materiali sarebbe differente, visto che da altri studi risulta che la colla animale a livelli alti di umidità, perde la sua resistenza e rigidità⁴.

Passiamo ad analizzare i dati: nella Fig. 1 sono state messe a confronto le tre colle animali testate.

Il risultato a nostro avviso è estremamente interessante: tutte e tre le curve hanno la stessa inclinazione di conseguenza la stessa rigidità, presentano inoltre la stessa area sottesa testimonianza della medesima forza e resistenza delle tre colle.

Dato da non trascurare nel momento della scelta di un consolidante, le motivazioni per la scelta di una colla rispetto ad un'altra non dovrà solo basarsi sulla sua forza e resistenza ma anche su altre caratteristiche, per esempio capacità del consolidante di penetrazione, di fluidità, sulla sua capacità adesiva a temperatura medio/basse, sul loro grado di incremento della saturazione della pellicola pittorica e altro ancora.

Nella Fig. 2 è riportato il comportamento della colla di coniglio al 4% e la stessa colla mescolata all'amido di frumento al 10% (1:1).

Il primo elemento da notare è l'inclinazione della curva della colla, è proprio da questa pendenza che si comprende la rigidità del materiale, la sua tenacia e la sua forza. Nessun materiale avrà questo tipo di inclinazione (sia tra i naturali che tra i sintetici). L'area sottesa della curva ci dimostra come il materiale sia molto resistente.

L'aggiunta dell'amido di frumento all'interno modifica leggermente la sua rigidità (l'inclinazione è circa la stessa), diminuisce la tenacità, l'area sottesa è più piccola e il campione si rompe prima.

Colla di coniglio al 4% addensata con Aquazol 200 al 2% (Fig. 2), siamo di fronte ad un materiale diverso, con delle caratteristiche meccaniche del tutto differenti; la rigidità della colla è fortemente diminuita, l'inserimento dell'Aquazol ha prodotto un materiale molto più elastico e molto più debole.

Colla di coniglio al 4% più Tylose al 1% (Fig. 2), la curva ha un carico a rottura più basso, il composto è meno tenace, meno forte ma meno rigido.

La colla di pelli al 4% addizionata all'amido di frumento al 10% (1:1) (Fig. 3) si comporta nello stesso modo della colla di coniglio, diminuisce la tenacità, il campione è fragile, si rompe prima.

Colla di pelli al 4% più Aquazol al 2% (Fig. 3), il materiale ottenuto è un composto molto elastico e privo di tenacità.

Colla di pelli con Tylose al 1% (Fig. 3), il composto è meno rigido della sola colla, pur rompendosi prima.

Per quanto riguarda la colla di storione al 4% addensata all'amido al 10% (Fig. 4) si ottiene un materiale quasi inutilizzabile per la sua rigidità e fragilità, dopo poche misure il materiale si rompe. Questa combinazione risulta molto più rigida della sola colla, questo non esclude che la miscela colla/amido in altre diluizioni non possa essere utilizzata o si comporti diversamente.

Colla di storione più Aquazol al 2% (Fig. 4), come nelle altre due colle anche in questo caso il materiale è più elastico e la rigidità della colla diminuisce fortemente, ottenendo un materiale molto debole, morbido privo di resistenza.

Per comprendere come il comportamento dell'Aquazol determini un composto dalle caratteristiche molto elastiche, sono stati realizzati dei campioni con una quantità maggiore di Aquazol all'interno (colla di pelli 2% più Aquazol al 4%). Il materiale ottenuto è completamente inconsistente, debole, molto elastico (Fig. 5). Si noti come l'ordine valori della scala siano del tutto diversi rispetto a quelli finora visionati.

Per quanto riguarda la seconda fase di studio, realizzata su frammenti di dipinti, è necessario sottolineare che non è stato scelto il consolidante più idoneo per ogni singolo dipinto, ma sono stati applicati i vari consolidanti per verificare il loro comportamento meccanico all'interno di un substrato originale; avendo avuto la possibilità di lavorare direttamente su dipinti reali non ci siamo soffermati sulla scelta del consolidamento migliore.

Prima di essere consolidati i dipinti sono stati testati per avere un riferimento iniziale con cui poi eseguire i confronti una volta eseguito il consolidamento.

I test stress and strain sui campioni reali sono stati eseguiti sia nel senso della trama che nel senso dell'ordito, dimostrando ancora una volta come quest'ultimo risulti più elastico della trama, anche una volta eseguito il consolidamento.

Dipinto ad olio del XVIII sec., "Angeli" (Fig. 6), le curve dei campioni subiscono un inevitabile cambiamento una volta consolidati; la colla di pelli al 4% irrigidisce il campione facendone aumentare la tenacità, la resistenza e la forza.

A nostro avviso è molto interessante dare prova di questo cambiamento, forse per la prima volta è dimostrabile come e quanto un dipinto vari dopo un trattamento a colla.

Il consolidamento con colla di pelli al 4% e Aquazol al 2% mostra un comportamento molto singolare, del tutto differente da quello precedentemente visionati.

La miscela (colla più Aquazol), probabilmente interagendo con i materiali costitutivi del dipinto perde le caratteristiche di elasticità e morbidezza, ottenendo così un campione più tenace e più resistente (Fig. 6).

Campione trattato con colla di pelli al 4% più Tylose a 1%, anche in questo caso c'è un aumento della resistenza del campione (Fig. 6).

Dipinto "Elementi decorativi" del XIX sec., consolidato con colla di pelli al 4%, come visto nel campione precedentemente, anche in questo caso la colla irrigidisce il campione facendo accrescere la sua resistenza e forza (Fig. 7).

Trattamento con colla di pelli al 4% più Aquazol 200 al 2%, il comportamento è simile ai campioni già visti, l'unico elemento da far notare è come la trama dopo il consolidamento sia più fragile tanto da rompersi (Fig. 7).

Campione consolidato con colla di pelli al 4% più Tylose al 1%, anche in questo caso il trattamento irrigidisce il campione tanto da arrivare a rottura (Fig. 7).

Dipinto del XX sec. "Quinta scenografica", si tratta di un dipinto a tempera caratterizzato da strati pittorici molto sottili tanto da ipotizzare la mancanza dello strato di preparazione.

Non avendo quindi degli stati pittorici "consistenti", il consolidamento ha agito soprattutto sulla tela, irrigidendola fortemente in tutti e tre i casi come risulta evidente nel grafico (Fig. 8).

Questo breve scritto è uno studio preliminare, si auspica di poterlo continuare in altre sedi, supportati soprattutto dal punto di vista chimico, perché molto sono gli interrogativi che si hanno una volta presa visione di questi risultati, come per esempio, dopo avere mescolato questi composti quale materiale si è formato? È chimicamente stabile?

Sarebbe interessante mettere a confronto materiali diversi e diluizioni differenti per capire se materiali più o meno diluiti hanno il medesimo comportamento.

Da questa ricerca, l'unico materiale tra la classe degli "addensanti" che risulta essere il più interessante per continuare lo studio è l'Aquazol 200, perché ha la capacità di ridurre la rigidità della colla e contemporaneamente essere un materiale resistente e tenace.

Infine si sottolinea l'importanza di avere lavorato direttamente su dei dipinti originali, visto i sostanziali cambiamenti che si hanno studiando i materiali di intervento finì a se stessi, rispetto a quelli applicati in substrati originali.

Studio delle proprietà meccaniche dei più noti consolidanti sintetici

Perché studiare le proprietà meccaniche dei materiali consolidanti utilizzati nel restauro dei beni policromi mobili?

In primis, per valutarne l'elasticità, la tenacità, la resistenza a trazione, aspetti finora poco investigati dal punto di vista diagnostico, ma determinanti nella pratica del restauro (si pensi a tutte le volte che si parla, in modo talvolta del tutto intuitivo, del Beva 371 come di un materiale "plastico", e del Paraloid B72 come di un materiale rigido); per capire l'eventuale influenza del solvente sul comportamento meccanico finale del materiale; ed - infine - per verificare come il consolidante può modificare le proprietà meccaniche del substrato sul quale è steso, nel nostro caso, un dipinto. A tal proposito, si intende verificare se il materiale avrà il medesimo comportamento meccanico anche quando "messo in opera", cioè applicato - per esempio - su una tela.

I materiali oggetto di questo studio, come già indicato nell'introduzione, sono 8 prodotti di sintesi; mentre, per lo svolgimento della seconda fase, sono stati consolidati e studiati un dipinto ad olio del XVIII sec, e una quinta scenografica a tempera dei primi del 1900. Passiamo a questo punto ai risultati sperimentali.

In primis, è stato studiato il Paraloid B72®, sciolto sia in acetone, solvente volatile ad elevata polarità, che in toluene, solvente aromatico a media polarità ed alta ritenzione. Dalla Fig. 9 è possibile osservare il comportamento meccanico del materiale, sciolto nei due diversi solventi, dopo un mese e dopo un anno dalla stesura dei film. Quello che si nota immediatamente è l'effetto plastificante del toluene sulla resina; il materiale, anche dopo un anno, risulta molto più morbido e debole del corrispettivo in acetone steso da un mese. Addirittura, dalla Fig. 10 è possibile osservare che, anche dopo ben 14 anni, il toluene è ancora presente nel materiale; si pensi se il substrato fosse al posto di un foglio di plastica impermeabile un substrato poroso, quale è un dipinto reale!

Sempre nella stessa figura, si nota il comportamento rigido e fragile della resina in metanolo; in particolare l'elevato Modulo elastico (pendenza iniziale della curva) è indice di un materiale molto rigido, mentre la piccola area sottesa alla curva, legata ad un valore di carico a rottura minore di 4MPa, ed ad una deformazione a rottura di solo 0,5% ne evidenzia la fragilità. Da questo punto di vista, sebbene il materiale in acetone sia rigido, esso si presenta comunque molto più forte e resistente del corrispettivo in metanolo. Si ricorda, inoltre, che anche lo spessore del campione può avere importanti ricadute sulle proprietà meccaniche finali del materiale, soprattutto se si considera l'eventuale influenza del solvente su di esse; infatti, tanto più il materiale sarà spesso, tanto più sarà rallentata l'evaporazione del solvente.

Tuttavia, se si confronta la curva del Paraloid B72® in acetone, di circa un mese (Fig. 9), con la curva di una delle tre colle (Fig. 1) è possibile osservare che la sua rigidità e forza è ben più bassa rispetto alla seconda.

Il secondo materiale che è stato considerato è il Plexisol P550®, appartenente anch'esso alla classe degli acrilici, e diluito per questo studio in acetone, white spirits e toluene. Come si può osservare dalla Figura 11, il Plexisol P550® è un materiale molto più debole e morbido del collega acrilico, e sembra non dipendere dal solvente adoperato per diluirlo, a differenza del Paraloid B72®; questo può dipendere dalla diversa capacità di diffusione delle molecole di solvente nel materiale.

Uno degli aspetti-chiave osservati per l'Aquazol 200® (Fig. 12) è la dipendenza delle proprietà meccaniche del materiale dall'umidità relativa ambientale; in particolare, al 50% di umidità relativa, cioè quella standard, si presenta già molto debole e morbido. L'effetto plastificante dell'Aquazol 200® è stato riportato alcuni anni fa, quale additivo del Paraloid B72®, ed è stato osservato anche nello studio meccanico sulle colle animali, tramite il quale è stata ottenuta una netta diminuzione della rigidità della colla animale in seguito all'aggiunta del prodotto (Fig. 3).

Anche il Klucel G® si presenta come un materiale piuttosto morbido e debole, che con il tempo però tende a diventare più rigido e forte (Fig. 13); questo potrebbe spiegare le modificazioni chimiche assunte dal materiale in seguito ad invecchiamento artificiale osservate dal "Gruppo Chimico" (vedi figura 6 a pagina 24 di questo volume), e potrebbe essere sintomo di un aumento di peso molecolare dello stesso®.

Il Beva 371®, sia dopo un mese che dopo un anno, sembra essere comunque un materiale piuttosto elastico, anche in seguito ad ulteriore riscaldamento (Fig. 14).

Sebbene siano state testate tutte le dispersioni acquose più note ed utilizzate nel settore, Acril 33® (il sostituto proposto da C.T.S Srl del Primal AC33®), Plectol B500®, Akeogard AT35®, riportiamo in questa sede solamente la curva carico-deformazione del Plectol B500®, quale rappresentativa di questa categoria di materiali. Come si può osservare dalla Fig. 15, infatti, le dispersioni acquose, avendo in genere Tg inferiori a 25°C, in condizioni ambientali standard, sono morbide e deboli.

Passiamo quindi allo studio meccanico dei dipinti oggetto di studio; per motivi logistici, si riportano in questa sede i risultati relativi solo al dipinto ad olio del XVIII secolo.

Come si può osservare dalla Fig. 16, le proprietà meccaniche dell'ordito e della trama del dipinto sono ben diverse; in particolare, come atteso, la trama è più rigida e forte dell'ordito che, in genere, è il filato più sottile e ritorto.

Consideriamo, a questo punto, la variazione di comportamento meccanico della trama (Fig. 17).

In seguito al trattamento di consolidamento con Paraloid B72® al 4% in acetone⁷, e Beva 371® al 10% in Naphta, le proprietà meccaniche della trama del dipinto rimangono sostanzialmente invariate. L'Aquazol 200® al 10% in acetone ne riduce - seppur in piccola misura - la rigidità, mentre il Plexisol P550® all'8.6% in White Spirits/Xilene è il materiale che la irrigidisce di più.

In seguito a trattamento di consolidamento dell'ordito (Fig. 18), con Paraloid B72® al 4% in acetone, si verifica un aumento di rigidità; lo stesso risultato viene tendenzialmente ottenuto anche con il Plexisol P550® all'8.6% in White Spirits/Xilene, e con l'Aquazol 200® al 10% in acetone, seppure in misura minore. Il Beva 371® al 10% in Naphta, invece, è l'unico materiale che non modifica il comportamento meccanico dell'ordito. In genere, come dimostra il confronto tra le Fig. 17 e 18, si osserva come l'ordito subisca maggiori variazioni del suo comportamento meccanico originale rispetto alla trama, più rigida e forte.

Concludendo, attraverso lo studio sui singoli consolidanti è stato possibile comprendere l'importante influenza del solvente, e dello spessore dei campioni, sul comportamento meccanico finale del prodotto; in entrambi i casi, gioca un ruolo determinante la volatilità del solvente e la sua capacità di diffondere nel materiale.

Lo studio delle proprietà meccaniche di dipinti reali, prima e dopo il consolidamento, inoltre, ha permesso di verificare come il substrato giochi un ruolo determinante sul comportamento finale del prodotto considerato. Da questo punto di vista, questo studio si presenta come il punto di partenza di progetti futuri più attenti all'interazione del singolo materiale con il substrato su cui viene adoperato.

Ringraziamenti

Si ringraziano il prof. Marion Mecklenburg, Senior Research Scientist, ed il Dott. Robert Koster, direttore dello Smithsonian Institution, Museum Conservation Institute, per averci permesso di svolgere questa ricerca presso il laboratorio e per il generoso supporto finanziario fornitoci nel mese di permanenza a Washington DC.

Un particolare ringraziamento va alla restauratrice Silvia Ottolini e alla Dott.ssa Laura Fuster Lopez della Universidad Politécnica de Valencia per aver preparato e misurato parte dei campioni riportati nello studio di Annalisa Colombo.

Si ringrazia l'Opificio delle Pietre Dure per aver fornito i materiali della ricerca di Debora Minotti.

Note

- 1 L. Borgioli, P. Cremonesi, *Le resine sintetiche usate nel trattamento di opere policrome mobili*, Padova, Collana I Talenti, il prato, 2005.
- 2 W. D. Callister, *Scienza e Ingegneria dei materiali. Una introduzione*, Edises, 2002.
- 3 Polietilene tereftalato o polietilentereftalato, della famiglia dei poliesteri.
- 4 M. F. Mecklenburg, *Meccanismi di cedimento nei dipinti su tela: approcci per lo sviluppo di protocolli di consolidamento*, Padova, il prato 2007, p. 113
- 5 R. Wolbers, *Proprietà meccaniche a Breve Termine degli Adesivi: Effetto dei Solventi e dei Plastificanti*, Convegno "Colore e Conservazione", Milano, 2006
- 6 *Macromolecole Scienza e tecnologia* (Vol. II), a cura di F. Ciardelli, M. Farina, P. Giusti, S. Cesca, Pisa, Pacini Editore, 1983
- 7 Il dipinto è stato consolidato inizialmente con il Paraloid B72® al 10% in acetone, ma l'intervento aveva completamente cambiato l'aspetto e la "mano" del dipinto; la striscia di campione si è rotta quasi immediatamente, così ho preparato una nuova striscia consolidata con il 4% di prodotto. L'intervento con questo materiale, ridotto in percentuale di circa la metà, da sicuramente un consolidamento migliore, o meglio, rispettoso delle caratteristiche originali dell'opera.

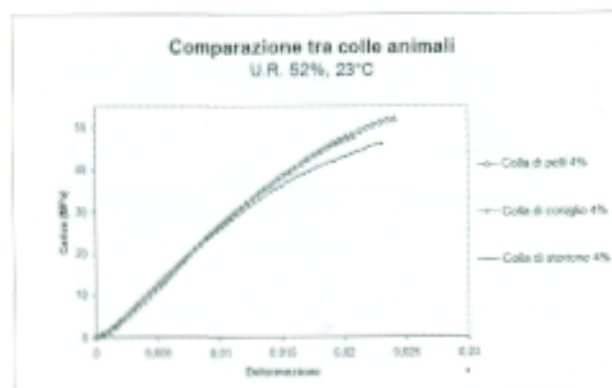


Fig. 1. Confronto colle animali.

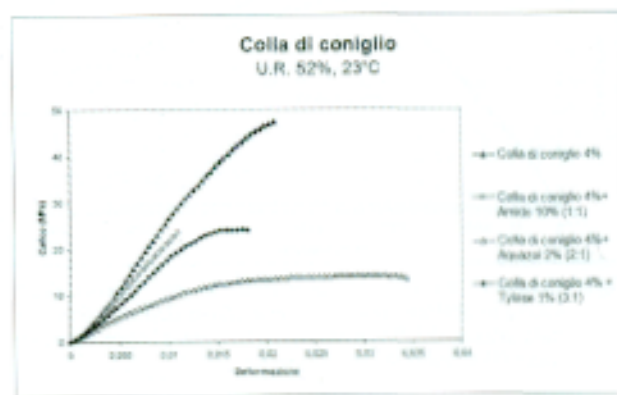


Fig. 2. Colla di coniglio e addensanti.

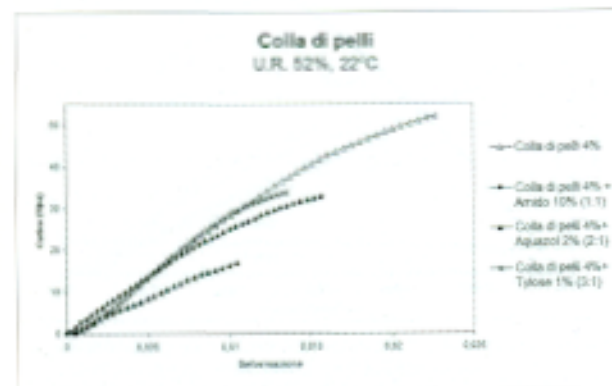


Fig. 3. Colla di pelli e addensanti.

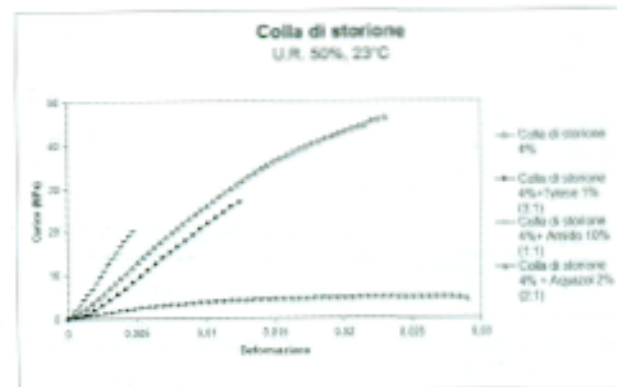


Fig. 4. Colla di storione e addensanti.

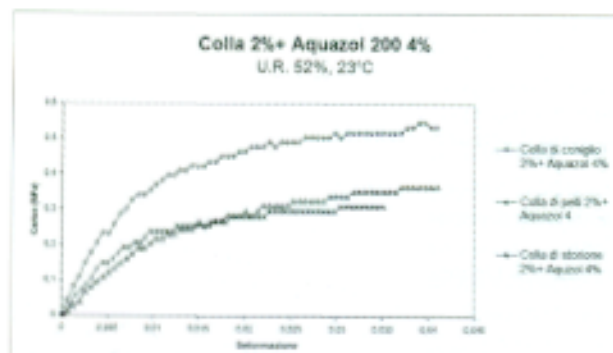


Fig. 5. Colloia più Aquazol 200.

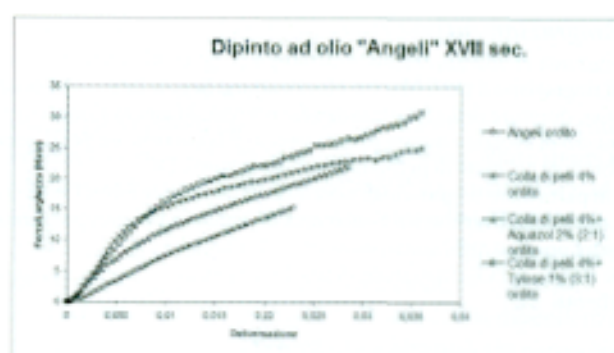


Fig. 6. Dipinto del XVII sec.

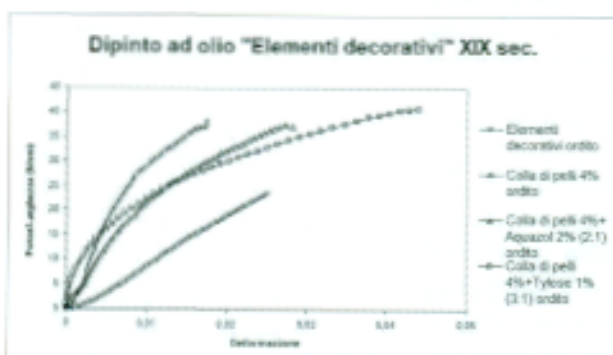


Fig. 7. Dipinto del XIX sec.

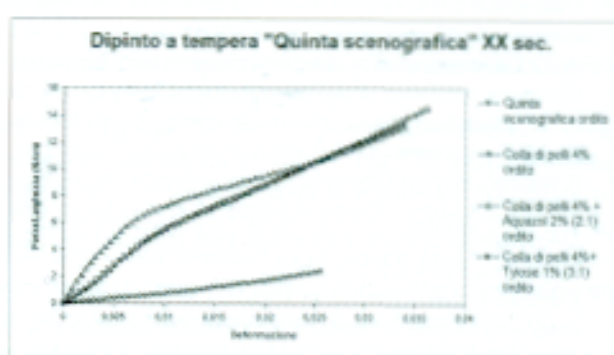
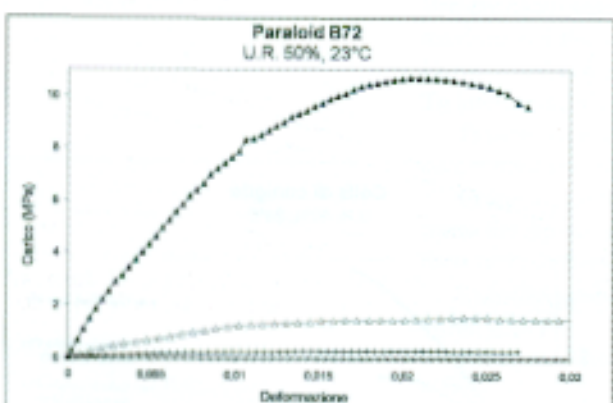
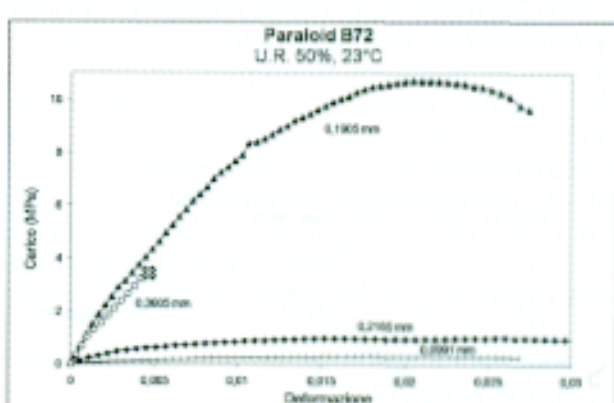
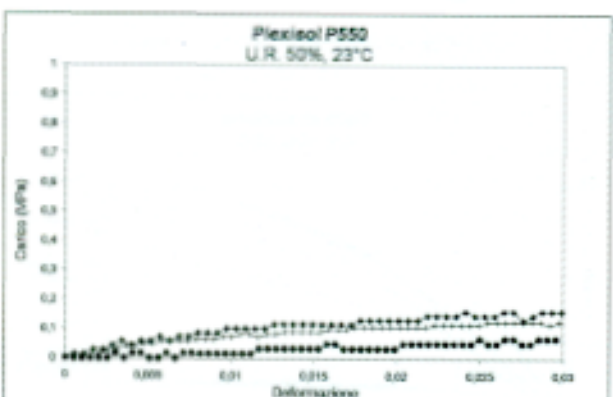
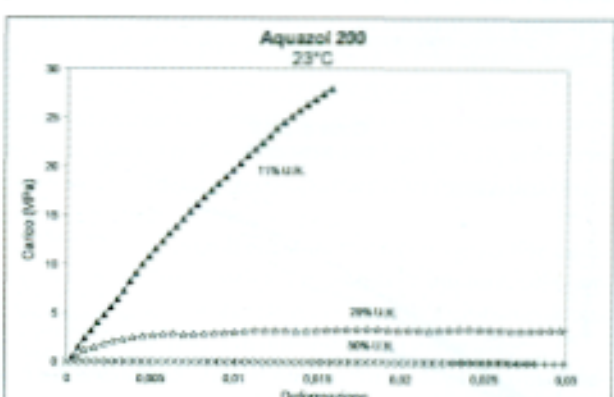


Fig. 8. Dipinto del XX sec.

Fig. 9. Confronto tra le proprietà meccaniche del Paraloid B72® sciolto in acetone, dopo un mese (Δ) e dopo un anno (\diamond) dalla stesura del film; e sciolto in toluene, sempre dopo un mese (*) e dopo un anno (+).Fig. 10. Confronto tra le proprietà meccaniche del Paraloid B72® sciolto in acetone, dopo un anno (\diamond) dalla stesura del film; sciolto in metanolo, dopo un anno (\circ); e sciolto in toluene, dopo un anno (+) e dopo 14 anni (\blacklozenge).Fig. 11. Confronto tra le curve carico-deformazione del Plexisol P550® in diversi solventi: acetone, dopo un mese (+) dalla stesura del film; toluene, dopo un anno (\blacklozenge); e white spirits, dopo un anno (\bullet).Fig. 12. Influenza dell'umidità relativa esterna sulle proprietà meccaniche dell'Aquazol 200®: al 50% U.R. in acqua (x), in acetone (+), e in etanolo (o); al 29% U.R. in acqua (Δ); e al 11% U.R. in acqua (\diamond).

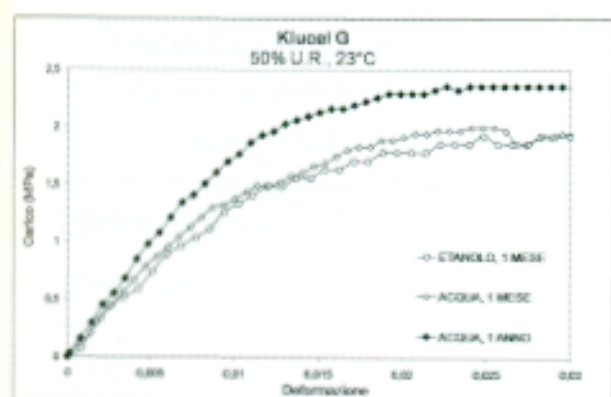


Fig. 13. Proprietà meccaniche del Klucel G® in acqua, dopo un mese (○) e dopo un anno (●) dalla stesura del film; e sciolto in etanolo, dopo un mese (△).

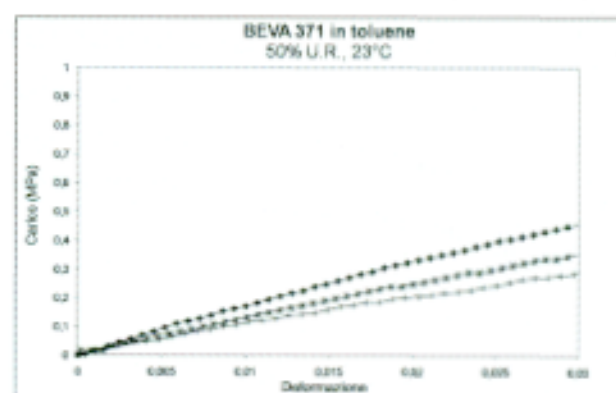


Fig. 14. Proprietà meccaniche del Beva 371® sciolto in toluene, dopo un mese (■) e dopo un anno (+) dalla stesura del film; e riscaldato un anno fa (◆).

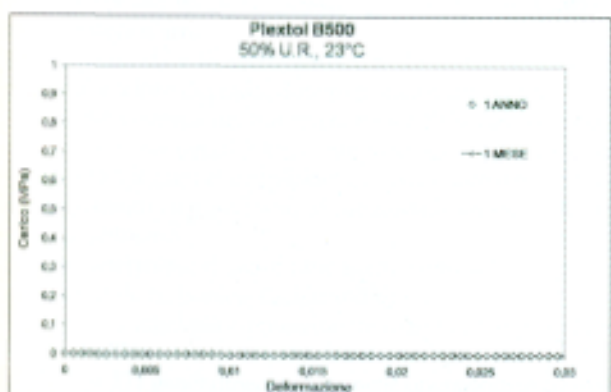


Fig. 15. Curva carico-deformazione tipica di una dispersione acquosa; in questo caso, viene riportata quella del Plextol B500®.

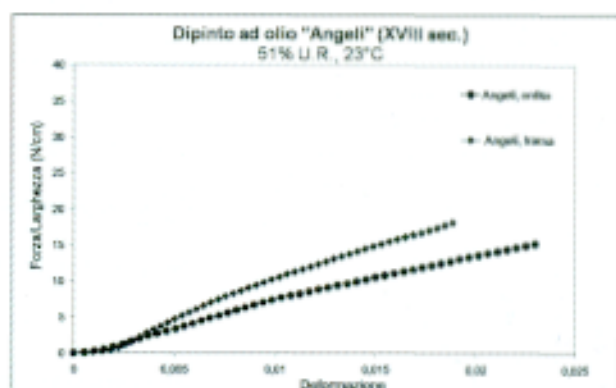


Fig. 16. Comportamento meccanico di un frammento di dipinto ad olio del XVII secolo, nella direzione della trama (◆) e dell'ordito (●).

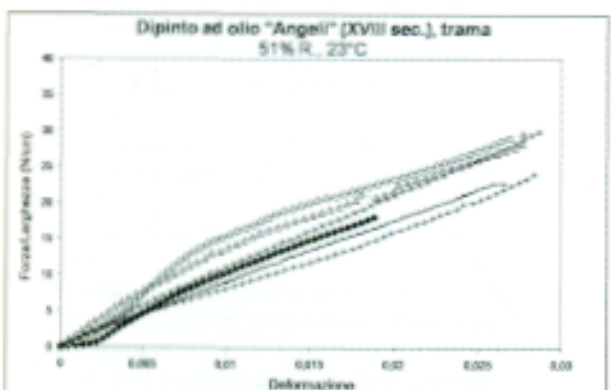


Fig. 17. Studio della variazione delle proprietà meccaniche del dipinto, nella direzione di trama (◆), in seguito a consolidamento con Colla animale (●); Paraloid B72® (x); Plexisol P550® (Δ); Beva 371® (-); e Aquazol 200® (+).

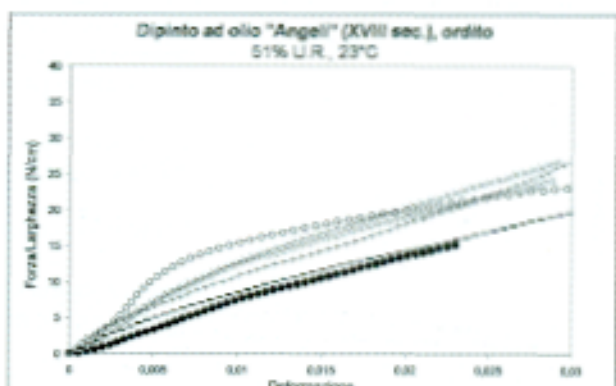


Fig. 18. Studio della variazione delle proprietà meccaniche del dipinto, nella direzione di ordito (◇), in seguito a consolidamento con Colla animale (○); Paraloid B72® (x); Plexisol P550® (Δ); Beva 371® (-); e Aquazol 200® (+).