

DIPINTI SU TELA: UNA PROPOSTA PER CONSERVARE I TELAI ORIGINALI.

Antonio Iaccarino

SOMMARIO

Storicamente ai telai è stato richiesto di assolvere a due funzioni che sarebbe più corretto tenere separate: il sostegno meccanico ed il tensionamento del dipinto su tela. Questa è una delle cause principali della troppo frequente e spesso inutile sostituzione dei telai antichi, per cui i dipinti ancora montati sul telaio originale diventano sempre più rari.

Si propone un metodo per conservare il telaio originale utilizzandolo per la sola funzione di sostegno meccanico del dipinto. L'altra funzione viene affidata ad una struttura di risposta elastica indipendente che fornisce un tensionamento controllato della tela.

PREMESSA

I dipinti su tela ancora montati sul telaio originale sono sempre più rari. Troppo spesso, infatti, la sostituzione del telaio avviene contestualmente alla foderatura. In genere questa tendenza è motivata dalla evidente inadeguatezza conservativaⁱ della coppia dipinto su tela-telaio fisso/telaio a biette, che causa gravi danni alla tela. All'origine di questa inadeguatezza è il fatto che ai telai si richiede di assolvere a due funzioni distinte: il sostegno meccanico ed il tensionamento della telaⁱⁱ; in realtà, per la sua struttura, un telaio è in grado di assolvere correttamente al solo sostegno meccanico della tela.

Questo è particolarmente evidente nel caso di un telaio fisso: il tensionamento è applicato contestualmente alle operazioni di montaggio della tela e non può più essere corretto. La tensione iniziale potrà essere conservata solo nel caso ideale di un dipinto tenuto al riparo da fluttuazioni dei parametri termoigrometrici perché gli opposti comportamenti reologici di telaio e tela causeranno altrimenti una rapida caduta della tensione: ad un aumento di U. R. % corrisponde un rigonfiamento del telaioⁱⁱⁱ, ma anche una contrazione della tela^{iv}, per cui si raggiungono valori talmente elevati da causare uno scorrimento relativo delle fibre del filato.

Questo è particolarmente evidente nelle zone angolari^v (fig. 1), dove si generano pericolosi sforzi di taglio, e lungo i margini del dipinto, dove, a causa

dell'attrito sul telaio e della prossimità dei vincoli, si ha una situazione paragonabile (almeno qualitativamente) a quella riscontrata negli angoli^{vi}.

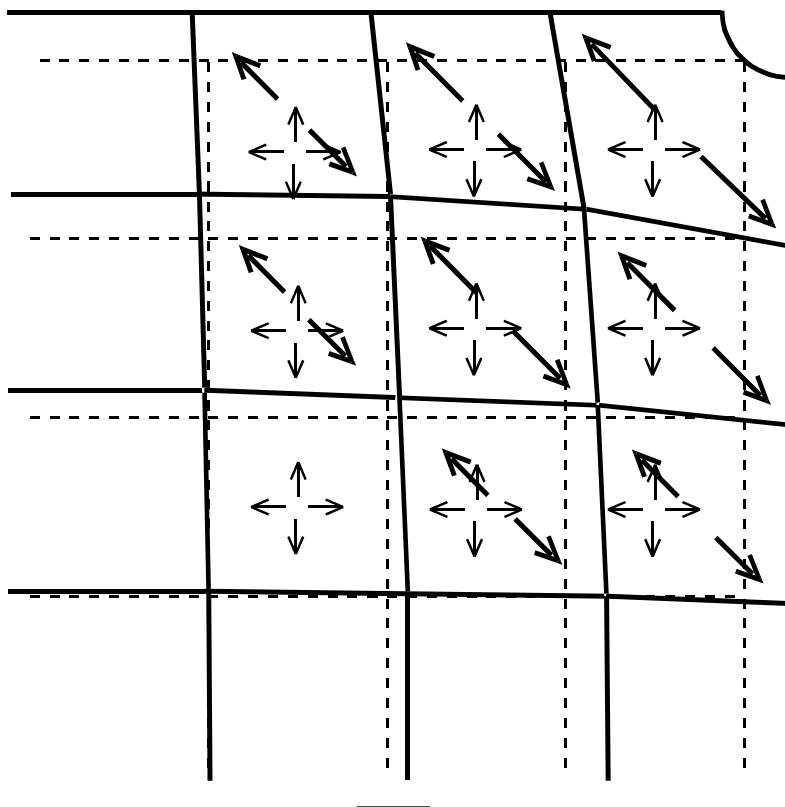


Fig. 1 Zona angolare: --- stato iniziale di equilibrio; — stato successivo all'espansione degli angoli o al rigonfiamento del legno del telaio.

L'invenzione settecentesca del telaio ad espansione angolare aveva lo scopo di sopperire alla completa mancanza di un meccanismo di regolazione del tensionamento nei telai fissi ma, pur permettendo di ripristinare la tensione iniziale, ha dato luogo agli altri ben noti problemi conservativi^{vii}. Il comportamento delle biette non è controllabile, per cui il telaio si comporta di fatto come un telaio fisso o, nella migliore delle ipotesi, un telaio "fisso ad intermittenza".

L'idea di regolare l'espansione angolare con delle molle, costruendo telai metallici ad espansione o montando delle molle agli angoli di un telaio ligneo, ha certamente permesso di evitare il fenomeno dell'intermittenza delle biette, ma non ha risolto il problema: gli angoli della tela continuano ad essere sottoposti agli stessi sforzi di taglio che si hanno in un telaio fisso, sebbene gli effetti siano meno evidenti perché il tensionamento viene continuamente corretto dalle molle.

In questo modo il tensionamento è ancora una volta affidato al sistema di sostegno, per cui i risultati sono molto approssimativi e sempre insoddisfacenti dal punto di vista conservativo.

Le due funzioni sono state separate per la prima volta dall'ICR negli anni '50: Roberto Carità^{viii} ha realizzato telai concettualmente innovativi, per la Crocifissione di Masolino a S. Clemente (affresco strappato) e per alcune tele (tra cui la decollazione del Battista e il S. Gerolamo del Caravaggio). Il telaio diviene uno scheletro rigido su cui la tela è libera di scorrere, ed il tensionamento elastico è realizzato con un sistema di molle (vincolate su traverse adeguatamente posizionate nel telaio) che tirano la tela sul retro; purtroppo la sua iniziativa ha avuto scarsissimo^{ix} seguito.

UNA PROPOSTA PER CONSERVARE IL TELAIO ORIGINALE COME NUCLEO DI UNA STRUTTURA DI RISPOSTA ELASTICA

Si presenta qui un metodo, già sperimentato su due dipinti molto diversi, che ha permesso di conservare il telaio fisso originale con la sola funzione di sostegno, affidando il tensionamento ad un sistema elastico indipendente.

Tale approccio ripropone un serio problema, ben noto ma ancora irrisolto: siamo in grado, infatti, di verificare l'uniformità della distribuzione della forza sul perimetro della tela, ma esistono pochissimi parametri di riferimento per stabilire quale valore questa debba assumere.

Da un punto di vista strettamente teorico si può dire che, essendo la tela assimilabile ad una membrana elastica, il tensionamento sia corretto quando si ottenga la massima resistenza alle deformazioni^x per il minimo di forza applicata.

Questo livello potrebbe essere quantificato misurando^{xi} il tipo di risposta della tela alle sollecitazioni; purtroppo la ricerca in questo campo è tuttora molto carente e non solo si sa troppo poco sul comportamento reologico ed elastico dei dipinti su tela, ma la effettiva misurazione del livello di tensionamento imposto ad una tela è talmente rara che non si può neanche provare a fare una casistica di massima.

Quando un dipinto viene montato su telaio, la scelta del livello di tensione è generalmente affidata all'esperienza del restauratore^{xii}, in grado di fornire una sintesi intuitiva, sebbene estremamente soggettiva, dei numerosi^{xiii} fattori in gioco.

Nel tensionare una tela su un telaio tradizionale si tiene conto della rapida caduta di tensione cui sarà soggetta, per cui il tensionamento imposto è generalmente un poco superiore a quello che si ritiene opportuno. Spesso, poi, questo viene aumentato localmente per risolvere difetti di planarità.

Con un sistema di tensionamento elastico controllato la tensione data alla tela in fase di montaggio sul telaio resta costante, per cui l'eccesso iniziale non è più

necessario. La planarità del dipinto si corregge automaticamente con il passare del tempo e dei cicli termoigrometrici, in virtù del comportamento viscoplastico dei materiali soggetti ad una tensione costante^{xiv}.

Un altro importante vantaggio consiste nel fatto che diventa finalmente possibile quantificare la forza applicata.

Nel caso dei dipinti in oggetto si è cercato il livello minimo di tensione per cui, tenendo conto di tutti questi fattori, la tela offrisse una buona resistenza alle deformazioni, secondo il sia pur sindacabile giudizio di alcuni restauratori. Ci sembra particolarmente interessante sottolineare il fatto che tale livello di tensione è stato misurato, e che il sistema di tensionamento è stato progettato in modo da avere un funzionamento ottimale in un intervallo predefinito di valori, ritenuto adeguato al dipinto.

ASPETTI OPERATIVI DELLA PROGETTAZIONE

Nel progettare una operazione di questo tipo, bisogna tener presenti alcuni aspetti fondamentali:

- i.* l'attrito sul bordo del telaio deve essere minimizzato;
- ii.* la struttura di risposta elastica deve essere progettata per ottenere un livello di tensione stabilito a priori;
- iii.* la struttura di sostegno per le molle non deve interferire con il telaio se non nel senso di utilizzarlo come sostegno.

Per riuscire ad eliminare l'attrito anche nella sua componente inerziale, la soluzione ideale sarebbe di realizzare un meccanismo che utilizzi l'attrito volvente^{xv}. Questo potrebbe essere realizzato inserendo nel bordo del telaio una barra rotante o uno scivolo di cuscinetti volventi, ma purtroppo si tratta di interventi troppo invasivi sul telaio o troppo complessi e costosi perché li si possa realisticamente proporre come soluzione di largo impiego.

L'intervento più praticabile per minimizzare l'attrito sul perimetro di un telaio antico sembra senz'altro essere l'applicazione di uno scivolo in materiale adatto^{xvi} e dalla sagoma adeguata.

Il livello di tensione al quale si vuole conservare la tela deve essere stabilito prima di iniziare la progettazione: in funzione di questo saranno il numero, il posizionamento e le caratteristiche fisiche delle molle. In linea di massima è possibile spostarsi entro un certo intervallo dal valore di tensionamento previsto (margine di approssimazione di ca. 20-25% in più o in meno) senza dover modificare la struttura o le molle.

Ai fini progettuali, le caratteristiche salienti delle molle sono dimensioni, intervallo di risposta elastica e costante di elasticità, la costante “k” della legge di Hooke ($F=k\delta l$).

Quest’ultima definisce, nel campo di elasticità della molla, il rapporto tra l’allungamento e la forza necessaria per produrlo e riassume in sé tutte le caratteristiche fisiche che la individuano, come il diametro del filo, la lega di cui è costituito, il passo ed il diametro della molla.

Essendo il rapporto tra forza (F) e allungamento (δl) espresso dalla costante di proporzionalità k ($F=k\delta l$; $k=F/\delta l$), questa dovrà essere il più possibile bassa perché la forza (e quindi la tensione della tela) non subisca variazioni rilevanti nell’intervallo di deformazione cui la molla dovrà andare incontro nel sistema progettato. Naturalmente, per valori di k che si avvicinano allo zero sarà necessario allungare moltissimo la molla per ottenere la tensione desiderata. Non si può quindi scegliere una molla troppo cedevole ma, compatibilmente con la struttura che si vuole costruire, la più cedevole possibile.

Per scegliere le molle bisogna quindi misurarne la costante elastica e l’intervallo di allungamenti in cui la risposta elastica è proporzionale^{xvii}.

Si dovrà quindi prevederne la lunghezza media di lavoro e calcolare l’angolazione che assumeranno rispetto al margine della tela. Solo la componente perpendicolare della forza lavora per tensionare la tela, mentre le altre devono essere controbilanciate.

L’allungamento iniziale della molla deve poter essere regolabile; a questo scopo si sono dimostrati molto utili i tenditori a doppia vite, permettendo una regolazione sensibile con un ingombro ridotto.

La trazione esercitata dalla molla sul perimetro^{xviii} della tela deve essere equilibrata con un sistema di vincolo che permetta di ottenere una risultante nulla. A questo scopo può essere usato un elemento del telaio, una molla simmetrica od anche una struttura che colleghi tra loro tutte le molle.

UN PROTOTIPO SPERIMENTALE

Si presenta qui, a titolo esemplificativo, l’intervento realizzato su un dipinto di 97x134 cm, dalla tela piuttosto sottile (armatura: tela, riduzione 8x8 filati al cm), una *Maddalena penitente* attribuita alla scuola dei Carracci.

Il telaio, di fattura molto accurata, è in durame di castagno (*castanea sativa*), senza traverse, con incastri fissi del tipo detto “a capitello” (molto usato nel ‘6-700); questi erano allentati, ma per il resto la struttura era in ottimo stato. L’esame delle tracce lasciate dalle chiodature sul bordo del telaio, del suo stato di conservazione e di quello della tela, confermano che si tratta del telaio originale.

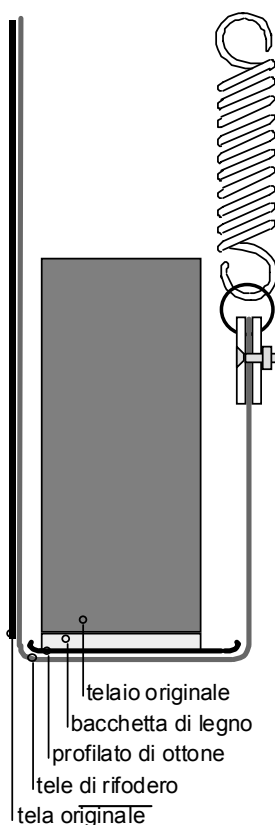


Fig. 2 Il telaio modificato.

Dopo aver restaurato il telaio vi si è adattato un listello di legno sagomato seguendone al negativo le irregolarità del profilo. Gli elementi del telaio hanno così acquistato 3 mm di larghezza.

Sul bordo così ottenuto, è stato applicato un profilato di ottone dai margini piegati e stonati, in modo da permettere lo scorrimento della tela da rifodero. La lamina di ottone (4 cm) è di 8 mm più larga del telaio e i suoi margini stonati sporgono di 2 mm sul recto e di 6 sul verso, in modo da distanziare la tela dal telaio^{xix}. La curva del profilato porta il punto di piegatura della tela 2 mm verso l'interno del telaio, compensati dallo spessore del legno aggiunto (fig. 2).

L'attrito dell'ottone con la tela non è irrilevante, in particolare la sua componente inerziale, ma non interferisce sul funzionamento del meccanismo se non forse rallentandone leggermente i tempi di risposta; è in fase di studio un metodo che consente di mettere in contatto due superfici di Teflon.

Si è progettata una struttura di risposta elastica in cui il tensionamento è realizzato da molle elicoidali collegate tra di loro mediante un telaietto rettangolare in alluminio, sospeso al centro del telaio dalle molle stesse^{xx} (fig. 3).

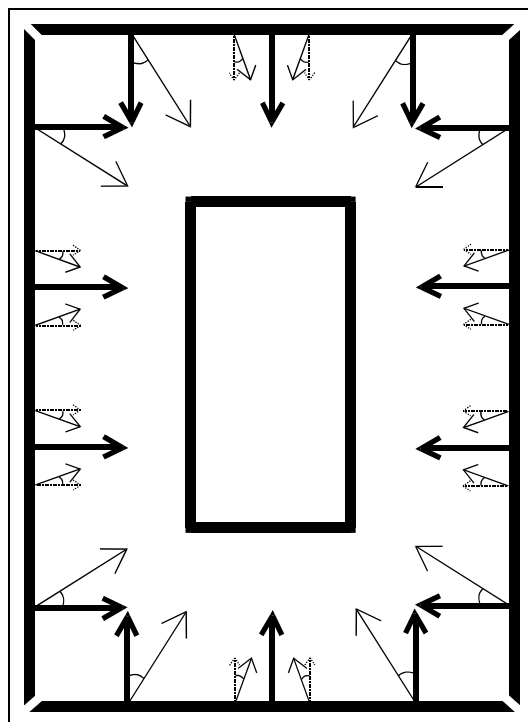


Fig. 3 Rappresentazione vettoriale della distribuzione delle forze: la forza sviluppata, la forza utile e le risultanti.

Posizionato il dipinto sul telaio, le tele di rifodero sono state fatte girare sul verso e rifilate a 45° negli angoli; i bordi sono stati serrati tra due fascette di alluminio strette con dei bulloncini posti alla distanza di 8 cm. Le molle sono agganciate alle fascette con degli anellini d'acciaio e sono collegate al telaio di alluminio con tenditori a doppia vite.

Il telaio non è completamente nascosto dalla tela di rifodero, ed è visibile per un cm. all'interno delle fascette di alluminio; la tela può essere smontata molto facilmente, sganciando i tenditori dalle molle.

Si è scelto, vista la geometria della struttura, di usare due tipi di molle^{xxi}.

Le 8 più grandi, poste ai vertici del telaio, sono lunghe 7,6 cm a riposo ed hanno un diametro di 1,6 cm; hanno una costante di elasticità pari a 1,33 e l'asse di ognuna forma un angolo di 30° con il bordo della tela in posizione di lavoro.

Le altre 12 sono montate a coppie su ogni tenditore, sono lunghe 5,7 cm a riposo ed hanno un diametro di 1,4 cm; la costante di elasticità è 0,94 e l'asse di ognuna forma un angolo di 18° con il bordo della tela (fig. 4).

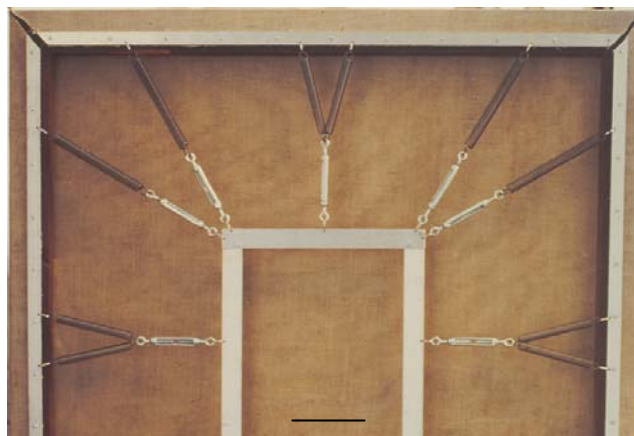


Fig. 4 La metà superiore del telaio modificato.

Per gli angoli ne è stata usata una per tenditore perché, visto che questo non è perpendicolare al perimetro, in una coppia si sarebbe avuta una eccessiva disparità di tensione tra le due molle. Quelle degli angoli sono leggermente meno cedevoli, ma la forza esercitata su unità di lunghezza è esattamente la stessa che esercitano le coppie di molle piccole. L'unica differenza è che, avendo un più grande valore di k , risponderanno con una maggiore inerzia alle variazioni dimensionali della tela.

Questa differenza, in verità quasi trascurabile, è sicuramente assorbita dalla fascia perimetrale di tela di rifodero libera, larga ca. 10 cm^{xxii}.

I punti di aggancio sulle fascette sono scanditi in modo da ottenere una ripartizione omogenea della forza lungo il perimetro della tela. In base a considerazioni fondate sull'esperienza personale e sulla letteratura, si è creduto che una tensione di 260 grammi/cm lineare potesse essere adatta al dipinto, viste le dimensioni, il tipo di tela, gli strati pittorici e la foderatura. Il tensionamento prodotto da ogni molla corrisponde alla sola componente perpendicolare della forza esercitata, pari alla forza totale per il coseno dell'angolo adiacente, che è appunto quello compreso tra la perpendicolare al bordo della tela e la retta su cui giace la molla.

Dopo l'allungamento, le molle erano ancora ampiamente entro la zona di proporzionalità elastica; il livello di tensionamento sembrava del tutto soddisfacente. Conservata per un anno in osservazione in un ambiente con frequenti variazioni termoigrometriche, la tela ha sempre conservato una perfetta planarità ed un identico livello di tensionamento.

Ringraziamenti

Si desidera ringraziare Mauro Torre (ICR) per la grande disponibilità a discutere il problema.

SUMMARY

Canvas stretchers are traditionally required to perform two functions that would be better kept separate: supporting the canvas and tensioning it. In fact, because of its structure, the stretcher is only able to give support to the canvas.

This has given rise to the too frequent and often useless replacement of old stretchers: paintings still mounted on their original stretcher are becoming increasingly rare.

We propose a method for keeping the stretcher while assigning the tensioning of the canvas to an independent elastic-response structure.

In order to create such a structure, it is necessary to quantify *a priori* the level of tension required by the painting. Unfortunately in the common practice the force is hardly ever measured, so it is not even possible to have a small survey of case-histories.

Considering personal experience and literature while aiming to reach the minimum level of tension corresponding to a good degree of resistance to deformation, in this case a tension of 260 gr/cm was chosen.

The most realistic intervention for reducing the friction of the canvas on the edge of the original stretcher seems to be the application of a slide that lets the lining canvas run smoothly. Tension was obtained with helicoidal springs attached to the border of the canvas and connected together through an aluminium frame suspended in the centre of the stretcher by the same springs.

The canvas was kept under observation for one year in an environment with frequent thermo-hygrometric fluctuations, and has always maintained perfect planarity and an identical level of tension.

Note

i Sul delicato rapporto tensionale tra tela e telaio, cfr.: G. Accardo, A. Bennici, M. Torre. *Tensionamento controllato della tela*. in: AA. VV., *Il S. Gerolamo del Caravaggio a Malta dal furto al restauro*. I.C.R. 1991; G. A. Berger, W. H. Russell. *Deterioration of surfaces exposed to environmental changes*. «Journal of the American Institute for Conservation», n 29 p. 45-76. 1990; G. A. Berger, *The role of tension in the preservation of canvas paintings: a study of panoramas*. ICOM Committee for Conservation 6th Triennial Meeting, Ottawa, 81/2/3, 1-12. 1981; G. Urbani, a cura di, *Problemi di Conservazione*. pp. 9-20. ed. Compositori, Bologna, 1973.

ii L'identificazione tra i due compiti è storicamente così radicata che il termine inglese per telaio è "stretcher", che ha anche il significato di "dispositivo per allargare, stendere".

iii Si può facilmente calcolare che un telaio in legno di abete di 100x100 cm, con sezione 3x10 cm ed incastri angolari a biette, si dilata di un centimetro lungo le ortogonali, passando da U. R. 30% a 80%.

iv Una tela libera di assorbire umidità, si contrae molto energicamente oltrepassando una soglia critica (relativamente bassa) di umidità relativa.

Cfr.: G. A. Berger, W. H. Russell. *Deterioration of surfaces...* (cit.); G. Hedley, *Relative Humidity and the stress-strain response of canvas paintings: uniaxial measurements of naturally aged samples*. «Studies in conservation» vol 33 n.3 pp. 133-148, 1988; W. H. Russell, G. Berger. *The behaviour of a canvas as a structural support for painting: preliminary report* pp. 139-145. IIC Congress Preprints: *Science and technology in the service of conservation*. Washington DC 1982; E. Tassinari, *Studio preliminare sul tensionamento delle tele da rifodero*, in G. Urbani, a cura di, *Problemi di Conservazione*. pp. 183-192. ed. Compositori, Bologna, 1973; E. Tassinari, *Metodi di caratterizzazione delle tele da rifodero*, in G. Urbani, a cura di, *Problemi di Conservazione*. pp. 141-165. ed. Compositori, Bologna, 1973.

^v Cfr. le simulazioni con modello ad elementi finiti di M. F. Mecklenburg, M. Mc Cormick-Goodhart, C.S. Tumosa. *Investigation into the deterioration of paintings and photographs using computerized modelling of stress development*. «Journal of the American Institute for Conservation», n. 33, pp. 153-170, 1994; M. F. Mecklenburg, C.S. Tumosa. *Mechanical Behaviour of Paintings Subjected to changes in temperature and relative humidity*. in *Art in Transit: studies in the transport of paintings*. Washington, DC. National Gallery of Art, pp. 173-216, 1991; e di J. Colville, W. Kilpatrick and M. Mecklenburg. *A finite element analysis of multi-layered orthotropic membranes with application to oil paintings on fabric*. IIC Congress Preprints 1982, e le considerazioni di S. Keck, *Mechanical alteration of the paint film*. «Studies in conservation» 1969, vol. 14 pp. 133-148.

Anche alcuni tipi di crettatura sono dovuti all'interazione tra tela e telaio: Cfr. A. Karpowicz *A study on the development of cracks on paintings* «Journal of the American Institute for Conservation», n 29 p. 169-180. 1990

^{vi} Questi potrebbero essere ridotti aggiungendo, con funzione di ammortizzatore, una fascia perimetrale di tela da rifodero vincolata sul retro, a condizione di permetterne lo scorrimento sul telaio, come proposto F. del Zotto, *Tensionamento dei dipinti su tela: contributo per una ricerca metodologica applicata*. «Kermes», n.9 1990, p. 3-10.

^{vii}

^{vii} I danni subiti dalla tela hanno giustificato nel tempo il sacrificio del telaio originale, anche se purtroppo la sostituzione è avvenuta, ed avviene tuttora nella maggioranza dei casi, a favore di un telaio a biette. Cfr. G. Accardo, G. Santucci, M. Torre, *Sollecitazioni meccaniche nei dipinti su tela: ipotesi su alcuni metodi di analisi e controllo*, in Atti della 3a conferenza internazionale sulle prove non distruttive, Viterbo 1992, pp.37-52.

^{viii} Cfr. R. Carità. *Considerazioni sui telai per affreschi trasportati su tela*. «Bollettino I.C.R.» n. 19, 1955; R. Carità. *Il restauro dei dipinti caravaggeschi della cattedrale, della Valletta a Malta*. «Bollettino I.C.R.» n. 29, 1957.

^{ix} G. Accardo, nel 1991 (cit.), scriveva : “[...] Se si considera il salto di qualità che si sarebbe potuto fare nella conservazione dei dipinti su tela, in virtù della soluzione che a questi problemi tale sistema prospettava ed alla luce delle risposte che la soluzione tradizionale non ha dato e non dà, è difficile spiegare perché questo sistema sia stato adottato poche volte nella sua versione originale ed abbia avuto scarso seguito [...]”.

^x G. A. Berger e W. H. Russell, in *Deterioration of surfaces...* (cit.), forniscono il valore della tensione della tela a cui corrisponde la massima resistenza alla deformazione. Per quella che definiscono una pesante tela da rifodero, (10 fili doppi al cm nell'ordito, 11,16 fili doppi al cm nella trama) hanno misurato la massima resistenza alla deformazione alla tensione di 170gr/cm.

^{xi} Montata la tela su un telaio dotato di dinamometri, si potrebbe misurare la risposta della tela ad una sollecitazione puntiforme (ad esempio con l'interferometria olografica) per una serie di valori di tensione, fino a trovare quello più adatto.

^{xii} Ad esempio, il laboratorio di fisica dell'Istituto Centrale per il Restauro aveva stabilito che teoricamente un buon livello di tensionamento per il *S. Gerolamo* del Caravaggio potesse essere intorno ai 400 gr/cm, ma poi la

decisione finale è stata giustamente presa dal restauratore, che ha ritenuto più adatta una tensione maggiore, misurata in 600 gr/cm. Cfr. G. Accardo, A. Bennici, M. Torre. *Tensionamento controllato...* (cit.)

^{xiii} Dipinto e telaio formano una struttura molto complessa: tela, preparazione, pellicola pittorica e telaio reagiscono in modi diversi e a volte opposti alle variazioni dei parametri microclimatici in relazione al tensionamento. Sappiamo che una tela libera di assorbire umidità, si contrae molto energicamente oltrepassando una soglia critica di umidità relativa, individuata da Berger intorno a U. R. 60% e da Hedley, *Relative Humidity...* (cit.) intorno a U. R. 80%; si sa pochissimo sulla reale influenza dei vari tipi di foderatura. Le colle animali, a base di igroscopico collagene, si distendono con l'umidità e fanno lo stesso anche molti colori ad olio: campioni lasciati invecchiare 36 mesi rigonfiano notevolmente assorbendo umidità, con una soglia critica intorno a U. R. 75-80%; la Terra d'Ombra Bruciata, ad esempio, che ha un aumento di lunghezza del campione dell'1,7%, ha addirittura un rigonfiamento paragonabile a quello della colla di pelli, il cui campione ha mostrato un allungamento del 2,6%. Cfr. M. F. Mecklenburg, *Some aspects of mechanical behaviour of fabric supported canvas paintings*. 1982 non pubblicato, biblioteca dell'ICCROM, Roma.

^{xiv} La nostra esperienza in proposito è confermata da quella di E. Knight, P. Pastorello, *Problemi conservativi di tele dipinte sulle due facce*, «Materiali e Strutture» anno IV n 3, 1994.

^{xv} Va registrata, in proposito, l'interessante esperienza di M. Nimmo, Mariabianca Paris, Lidia Rissotto, Francesco Bonetti, Paolo Cappa: *Tensioning Gilded and Painted Leather*. in ICOM-CC, 11th Triennial Meeting Edimburg 1-6 September 1996, pp. 751-758. Per un antemensale in cuoio dipinto è stato realizzato un telaio sul cui perimetro sono dei rulli montati su cuscinetti a sfera, che permettono di ottenere lo scorrimento della tela di rifodero con attrito minimo, trattandosi appunto di attrito volvente.

^{xvi} Carità ha usato l'ottone per il *S. Gerolamo* ed il legno del telaio stesso, lisciato e verniciato con vernice alla cellulosa, per la *Decollazione*, ma si può certamente pensare a materiali moderni più specifici, come il teflon.

^{xvii} Questo può essere fatto empiricamente in modo molto semplice, sottoponendo la molla a trazioni di entità nota e crescente, misurando l'allungamento prodotto: il rapporto tra le due grandezze è la *k*; quando l'allungamento non è più proporzionale alla forza impiegata, la molla non lavora più nell'intervallo di proporzionalità elastica.

^{xviii} Un vincolo continuo può essere utile per ottenere una ripartizione più omogenea sul perimetro.

^{xix} Sul verso era necessario perché il sistema elastico non toccasse il telaio; evitare il contatto tra tela e telaio sul recto è comunque utile perché non si creino zone a diversa inerzia igrometrica all'interno della tela stessa.

^{xx} Questo potrebbe far temere uno spostamento della tela rispetto al telaio. Per questo motivo è stato lasciato un piccolo margine di sicurezza di tela da rifodero libera (2 mm) in corrispondenza del bordo superiore (il sistema di tensionamento pesa ca. 300 gr più del dipinto foderato). Il dipinto è stato per un anno in osservazione in un ambiente con frequenti variazioni termoigrometriche e non si è misurato il minimo spostamento rispetto al telaio.

^{xxi} Sono state utili alcune simulazioni preliminari per misurare l'angolazione assunta in posizione di lavoro e controllare che non si verificassero interazioni indesiderate tra le molle.

^{xxii} Si ricorda, a titolo di curiosità, che Carità conclude così la descrizione del nuovo supporto del *S. Gerolamo*: "Per ottenere maggior forza di trazione nelle zone angolari si posero in più forte tensione le due molle degli otto trapezi d'angolo". Non si capisce bene perché, probabilmente voleva correggere difetti di planarità in quella zona.