

Aria e gas perfetti

Aria secca a terra è composta da **miscela di gas** per lo più azoto N_2 (78%) e ossigeno O_2 (21%) e componenti minori di anidride CO_2 e altri gas

L'aria è per alcuni scopi trattata **come** se fosse un **gas perfetto** composto di particelle di $M=28,96$ unità di massa atomica (massa media delle molecole che la compongono).

La legge dei gas perfetti \rightarrow **$pV=nRT$**

p = pressione , v = volume, T temperatura assoluta espressa in gradi kelvin, n numero di moli, R costante dei gas perfetti .

Il vapor acqueo presente nell'aria dipende da T e dalle condizioni del tempo e varia tra lo 0,5 e il 4 %. Legame tra gradi kelvin e celsius è:

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273,15$$

$$R = 8,314472 \frac{J}{mol \cdot K}$$

Temperatura determina la direzione del flusso dell'aria che va da zona più calda a una meno calda.

Temperatura è legata al valor medio dell'energia cinetica delle molecole che per il principio di equipartizione dell'energia è per le molecole atomiche

$$E_c = \frac{3}{2} kT$$

K costante di Boltzmann $1,38 \cdot 10^{-23}$
JK⁻¹

$$k_B = \frac{R}{N_A} \quad R = 8,314472 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

E per quelle biatomiche (5 gradi di libertà invece di 3 come per quelle atomiche)

$$E_c = \frac{5}{2} kT$$

La temperatura è una variabile fisica che si misura con il termometro

Capacità termica

Si definisce **capacità termica** di un corpo il rapporto fra il calore fornitogli e l'aumento di temperatura che ne è derivato. L'unità di misura è J/K

La **capacità termica** è **proporzionale alla quantità di materia**:

$$C = c \cdot m$$

dove m è la massa e c il calore specifico per unità di massa e C la capacità termica. Per l'acqua il calore specifico è 4186 J/K (1 Kcaloria/Kg K)

Se, in una trasformazione infinitesima, δQ è la quantità di calore assorbita dal corpo di massa m passando da una temperatura iniziale T alla temperatura $T + dT$, si ha

Se, in una trasformazione infinitesima, δQ è la quantità di calore assorbita dal corpo di massa m passando da una temperatura iniziale T alla temperatura $T + dT$, si ha

$$\delta Q = m \cdot c \cdot dT$$

Capacità termica

Tutto questo vale solo **quando non si ha una transizione di fase** (cambiamento di stato), mentre per i sistemi in cui avviene un passaggio di stato si utilizza il calore latente λ per esprimere il calore scambiato; esempio calore latente **di fusione del ghiaccio**

$$\delta Q = \lambda \cdot dm$$

dove λ è il calore latente e δQ la quantità di calore necessaria a far cambiare fase alla quantità di massa dm .

I materiali hanno capacità termiche, cioè calori specifici **diversi** e anche **conducibilità termica diversa** il che determina comportamenti diversi nei materiali.

Degrado dovuto alla temperatura

Solidi si dilatano

secondo la legge

$$V=V_0(1+\alpha \Delta t)$$

Con V_0 volume iniziale
si può anche scrivere

$$\Delta V= \alpha \Delta t$$



Ci sono sbalzi di temperatura tra il giorno la notte e tra le varie stagioni. Gli **sbalzi diurni sono i più pericolosi** per le superfici delle opere d'arte perche avvengono in poco tempo (alto gradiente termico) e **sono molto frequenti**. Cicli termici sono responsabili della disgregazione delle rocce vulcaniche e metamorfe

La dilatazione termica hanno effetti sulla stabilità di monumenti quali la Torre di Pisa che ha struttura composta da elementi sottili come le colonne. La dilatazione termica sui 50 metri e con Δt di 20^0 (escursione diurna) è di 8 mm verticalmente. Le espansioni producono compressioni sulle colonne che sono state danneggiate.

Gli effetti ci sono anche sui vari strati pittorici su tele e tavole.

Umidità

L'**umidità** è la misura della quantità di vapore acqueo presente nell'atmosfera (o in generale in una massa d'aria).

Umidità assoluta è la quantità di vapor acqueo espressa in grammi contenuta in un m³ d'aria.

Umidità relativa (UR) indica il rapporto percentuale tra la quantità di vapore contenuto in una massa d'aria e la quantità massima (cioè *a saturazione*) che il volume d'aria può contenere nelle stesse condizioni di temperatura e pressione.

$$UR = P_{va} / P_s \times 100$$

(P_{va} Pressione vapor acqueo P_s pressione di saturazione)

Alla temperatura di rugiada l'umidità relativa è per definizione del 100%. L'umidità relativa è quindi data dal rapporto tra umidità assoluta e l'umidità di saturazione..

Il *deficit* di saturazione è dato dalla differenza tra umidità assoluta e umidità di saturazione.

All'aumentare della Temperatura diminuisce l'UR

L'umidità assoluta aumenta all'aumentare della temperatura, l'umidità di saturazione aumenta più che proporzionalmente quindi l'umidità relativa tende a scendere. Quando un abbassamento di temperatura porta a far coincidere l'umidità assoluta con quella di saturazione si ha una condensazione del vapore acqueo (temperatura di rugiada). In corrispondenza di questo valore se si ha una superficie fredda si ha la **rugiada** (brina a valori sotto lo zero), se la condensazione riguarda uno strato sopra il suolo si ha la **nebbia**.

Questo fatto è stato determinante nel creare danni alle opere d'arte dall'inizio del 900, quando si è iniziato a riscaldare gli edifici senza una adeguata umidificazione (o deumidificazione) dell'aria.

Degrado dovuto alla temperatura

Un effetto della variazione di temperatura è il **cambio del punto di saturazione di vapor acqueo**

Molti materiali tra cui il **legno**, la pergamena, l'avorio, etc cambiano le loro dimensioni a seconda del loro contenuto **di acqua**. Si **espandono e si contraggono e presentano micro fessure**.

I meccanismi a cui va incontro il legno ad esempio per effetto degli sbalzi di temperatura sono molti e complessi e lenti (effetti visibili nei mobili antichi)

Δt per le pietre porose cambia l'umidità relativa che ha effetti sulla concentrazione di sali che precipitano se la soluzione è soprasatura.

Durante le giornate di sole le opere d'arte sono sottoposte a **shock termici** tanto più gravi se si aggiunge il **vento**.

Si genera **disgregazione di granuli** ad esempio nel granito o nei marmi. Questi danni sono irreversibili e non restaurabili. È un esempio la Colonna Traiana a Roma

Degrado dovuto alla temperatura

La temperatura dell'aria è un importante fattore per lo sviluppo o meno della vita di **microorganismi** tra cui **i batteri** . Temperature sotto i 20 gradi limitano il loro sviluppo mentre quelle superiori la favoriscono.

Si deve agire su umidità relativa, luce e ventilazione per limitare i loro effetti. Infatti i **sottili strati di batteri sulle superfici di pietre sono negativi anche perchè favoriscono il deposito di altri strati e ne alterano le proprietà di porosità**. Hanno anche alcuni effetti protettivi che bilanciano in parte quelli negativi.

Sono fenomeni che vanno studiati bene a seconda del microclima della zona in cui si trovano le opere d'arte le quali devono essere **trasportate con cautela perche in altri musei possono trovare microclimi diversi** con i quali non si trovano in equilibrio come nel luogo in cui si trovano da centinaia di anni.

Importante variabile di cui tenere conto sono le condizioni di **temperatura e umidità all'interno degli edifici**

Degrado dovuto alla temperatura

La **temperatura all'interno degli edifici**, oltre che dalle condizioni esterne è condizionata dai **materiali di cui sono fatti** (capacità e conducibilità termica), dal tipo di architettura e dalla posizione delle stanze all'interno dell'edificio stesso.

Differenze notevoli tra edifici antichi o moderni, tra **stanze al piano terra** (alta capacità termica più lente a cambiare temperatura) e quelle ai **piani più alti che si scaldano e si raffreddano più velocemente**.

In una stanza **non basta un unico termostato** per capire cosa succede. La temperatura T è infatti funzione delle coordinate spaziali e del tempo

$$T_0(x,y,z,t)$$

Aria in una stanza si muove, e, avendo un basso calore specifico è condizionata da scambi di calore tra aria vicina al pavimento e quella vicina al soffitto, dalla posizione delle finestre, dall'irraggiamento solare, dalle lampadine, dalle persone, etc.

Previsioni di degrado.

Questioni di Conservazione Preventiva

materiale tratto dal Corso tenuto al CCR di Venaria nel 2010 da **Marion Mecklenburg e Laura Fuster-Lopez**, dal testo: *Meccanismi di cedimento nei dipinti su tela:*

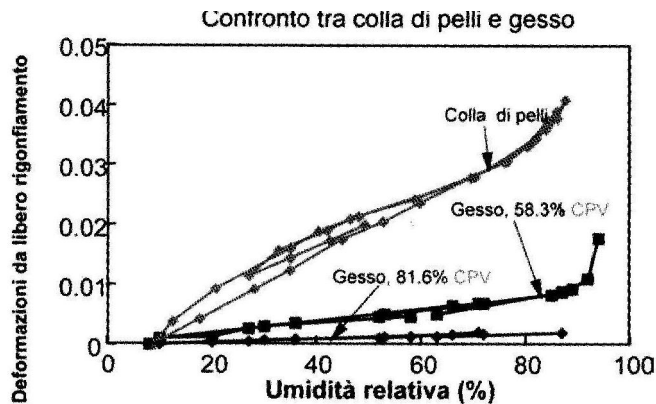
approccio per lo sviluppo di protocolli di consolidamento di Mecklenburg edito da *il Prato*, e dal resoconto di **Paola Buscaglia**

- Condizioni ambientali e dei loro mutamenti: INFLUENZANO IL COMPORTAMENTO DI OGNI SINGOLO MATERIALE COSTITUTIVO delle opere d'arte.
- M. Mecklenburg e L. Fuster-Lopez: hanno studiato questi fenomeni e modellizzato il rischio di danni (RISCK ASSESTMENT) con l'obiettivo di prevedere il più precisamente possibile il comportamento di ciascun materiale, prima singolarmente, poi inserito in un sistema complesso.
- È necessario considerare anche episodi di stress e rischio potenziale quali i la movimentazione ed il trasferimento di opere temporaneo e/o permanente

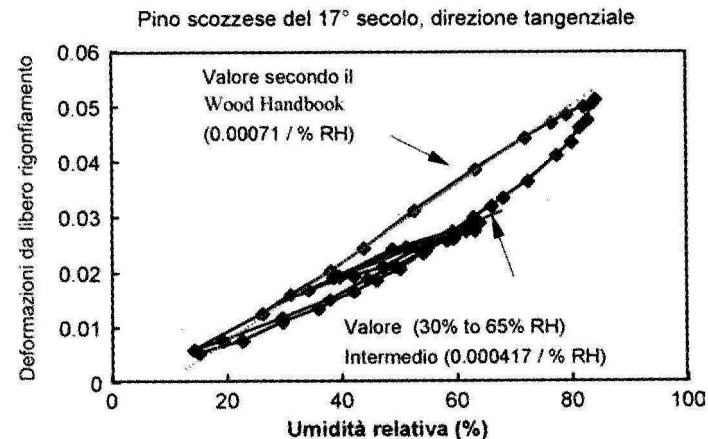
M. Mecklenburg e L. Fuster-Lopez

- Hanno studiato soprattutto gli **effetti sui materiali al variare dell'umidità relativa e della temperatura.**
- Hanno implementato simulazioni matematiche con cui prevedere il più precisamente possibile i possibili **danni** subiti per effetto dei mutamenti delle condizioni termoigrometriche ambientali dai materiali costitutivi di dipinti **su supporto tessile, ligneo e in rame**

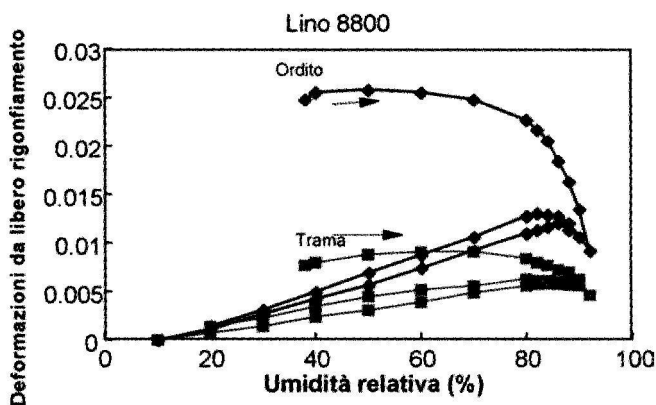
La simulazione è stata possibile perché sono stati raccolti dati sui degradi a carico delle diverse tipologie di opera, mettendoli in relazione al comportamento dei **materiali costitutivi alle variazioni di UR** (supporti, strati preparatori e pittorici) ed a quello dei **più comuni materiali di intervento** (adesivi, consolidanti, riempitivi, etc)



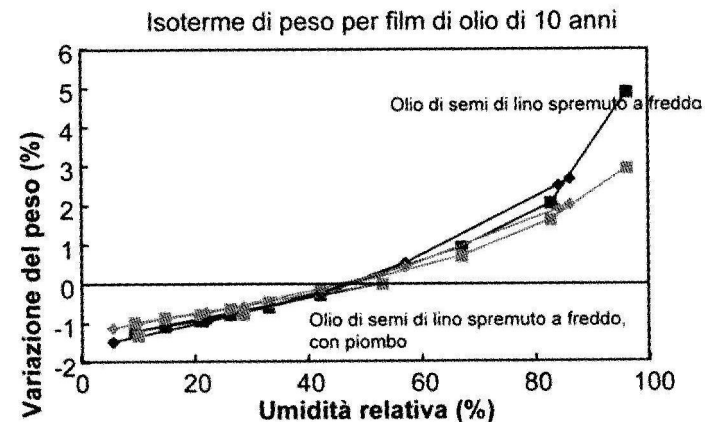
8) La reazione di rigonfiamento del gesso e della colla di pelle al variare dell'umidità relativa. Le miscele di gesso hanno una reazione dimensionale ai cambiamenti di U.R. molto inferiore rispetto alla colla; questo per l'aggiunta dell'inerte carbonato di calcio.



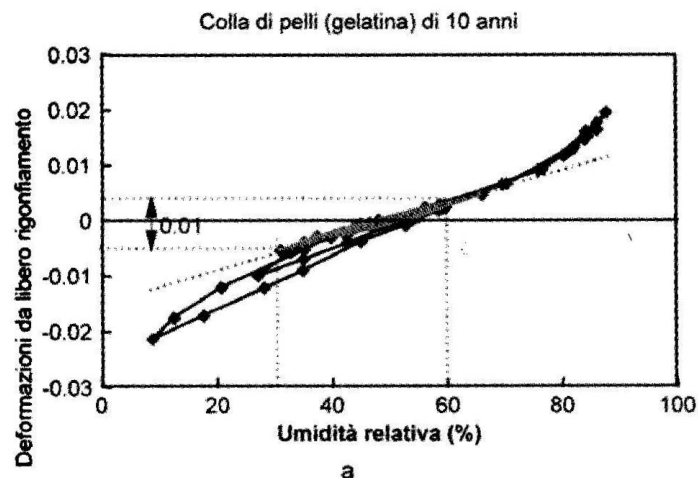
5) La reazione di rigonfiamento a variazioni piccole e grandi di umidità relativa di un pino scozzese del 17° secolo cresciuto nella stessa foresta in Norvegia da cui proveniva il legno nuovo di cui si è trattato nella figura 4. La direzione tangenziale che si vede nella figura è quella più reattiva e mostra un comportamento completamente diverso a seconda della grandezza della variazione dell'umidità relativa.



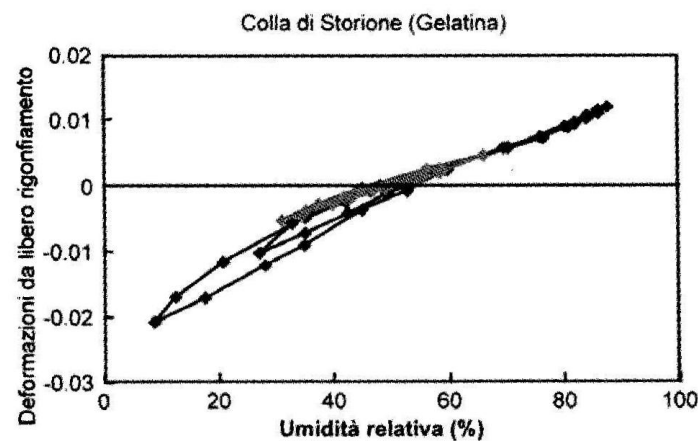
6) La variazione dimensionale di un campione di lino non tensionato in relazione alle variazioni di umidità relativa. Dopo il primo ciclo ad alta U.R., il materiale ha un comportamento ripetitivo. Questo lino era del tipo #8800 fatto a macchina dall'Ulster con una densità di 1.25 fili/mm sia in ordito che in trama.



2) La variazione di peso di un campione di olio di semi di lino senza pigmento, al variare dell'umidità relativa. L'olio contenente il piombo è leggermente meno reattivo ai cambiamenti di umidità, e questo può essere dovuto all'effetto essiccante del litargirio.

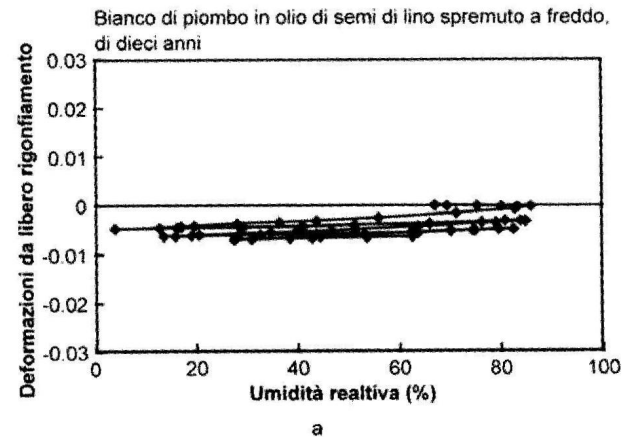


a

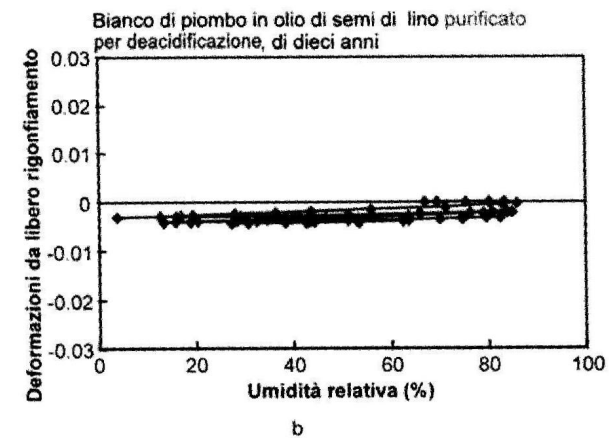


b

7a-b) La figura 7a mostra la reazione di rigonfiamento in relazione alle variazioni di umidità relativa di un campione di colla di pelli di 10 anni. C'è un'isteresi leggera in questo materiale. Tra il 30 e il 60% di U.R. si ha una variazione nella lunghezza del materiale di circa l'1%. La figura 7b mostra la reazione di rigonfiamento in relazione alle variazioni di umidità relativa della colla di storione. Come per la colla di pelli, anche in questo materiale c'è un'isteresi leggera. Anche il comportamento intermedio è simile a quello della colla di pelli.



a



b

9a-b) La figura 9a mostra la reazione di rigonfiamento a grandi variazioni di umidità relativa di una preparazione a bianco di piombo in olio di lino spremuto a freddo di dieci anni. Anche dopo una ripetuta esposizione a grandi variazioni di U.R. il colore ha una reazione dimensionale piccola. La figura 9b mostra la reazione di rigonfiamento a grandi variazioni di umidità relativa di una preparazione a bianco di piombo in olio di semi di lino purificato per deacidificazione di dieci anni. Come per la preparazione a bianco di piombo fatta con olio di lino spremuto a freddo si ha una reazione dimensionale molto piccola ai cambiamenti di U.R. L'olio di semi di lino purificato per deacidificazione si trova frequentemente nei colori a olio che si trovano oggi pronti in commercio.

Previsioni di degrado

Ciascuno dei **materiali** presi in considerazione sviluppa una **forza/tensione specifica (stress)**, che è necessario valutare prima singolarmente e poi in relazione agli altri elementi dell'opera.

Per questo scopo sono stati definiti con precisione alcuni valori sulla base dei quali confrontare i diversi materiali:

Coefficiente di espansione per umidità

(y)= variazione dimensionale ($\Delta\varepsilon$) / cambio % UR (ΔUR)

$$Y = \Delta\varepsilon / \Delta UR$$

Valore % della deformazione → **Cambiamento dimensionale/Lunghezza originale (x 100)**

$$\Delta L / L$$

Obiettivi principali:

- capire qual è il **coefficiente di espansione** dei vari materiali
- valutare in quale **intervallo di variazione di UR si registra una deformazione significativa**
- Valutare in quale **intervallo di variazione di T si registra una deformazione significativa**
- individuare le soglie di rischio (per UR e per T nell'ambiente) per alcuni dei materiali frequentemente incontrati su dipinti mobili

A seguire alcuni esempi...

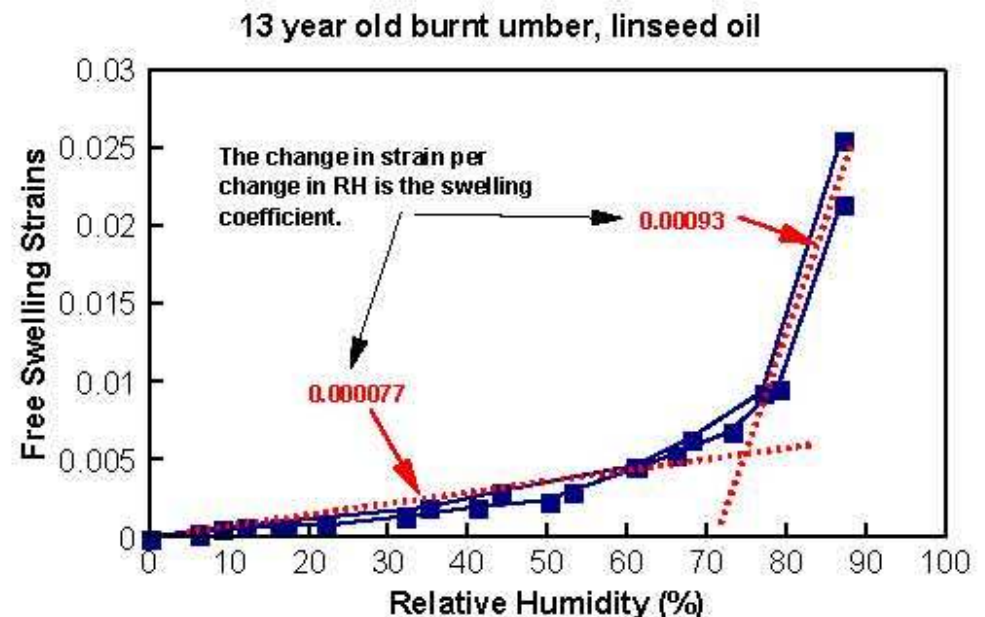
Terra d'ombra bruciata:

Pigmento frequentissimo in pittura su tela, sia per il trattamento di campiture scure, sia per intonare cromaticamente gli strati preparatori (**mestiche oleose**) di dipinti su supporto tessile.

- contiene argille, che rendono il materiale molto sensibile alle variazioni di UR (assorbimento).
- ottenuto dalla **lavorazione a caldo** del pigmento naturale terra d'ombra, che comporta una **perdita della % di H₂O** del materiale, il quale tende, al variare dell'UR, a recuperare tale % assorbendo **H₂O** dall'ambiente

Buonaguidi Romero

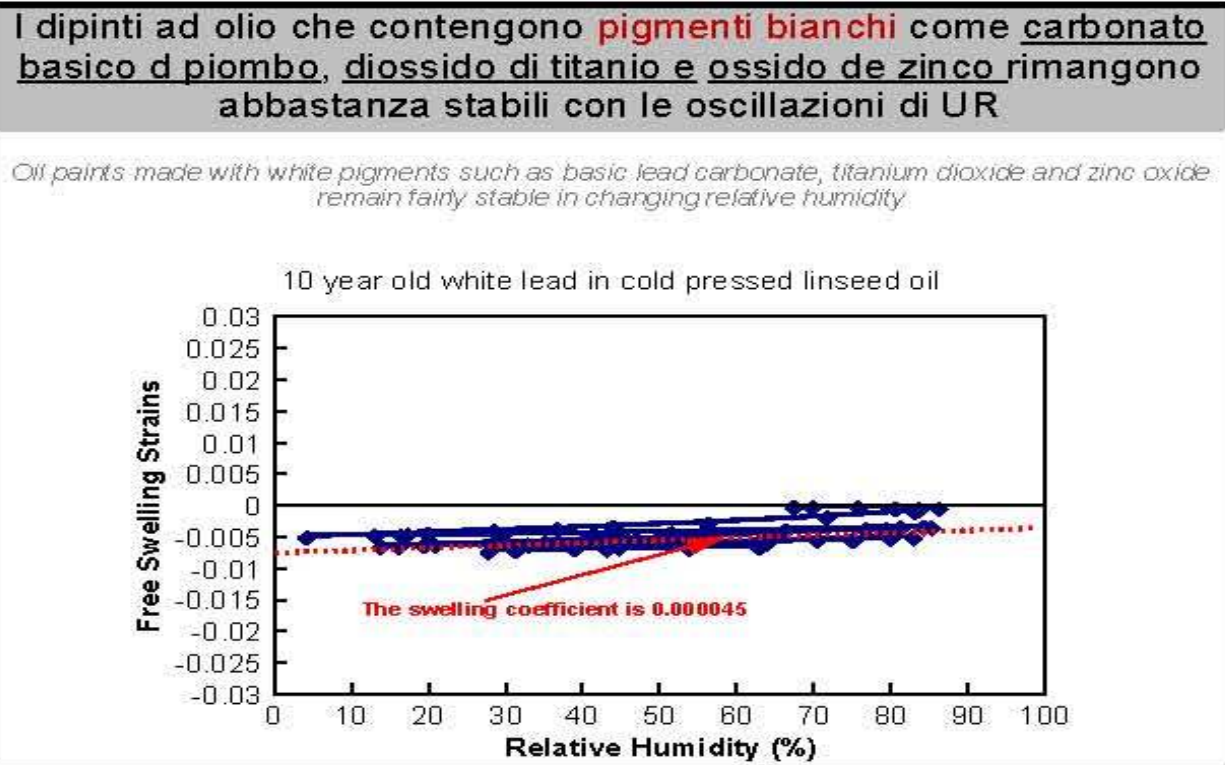
Como puo' vedersi, il **coefficiente di espansione per umidità** (o coefficiente di ringoiamento) è il cambio nella deformazione in relazione al cambio in umidità

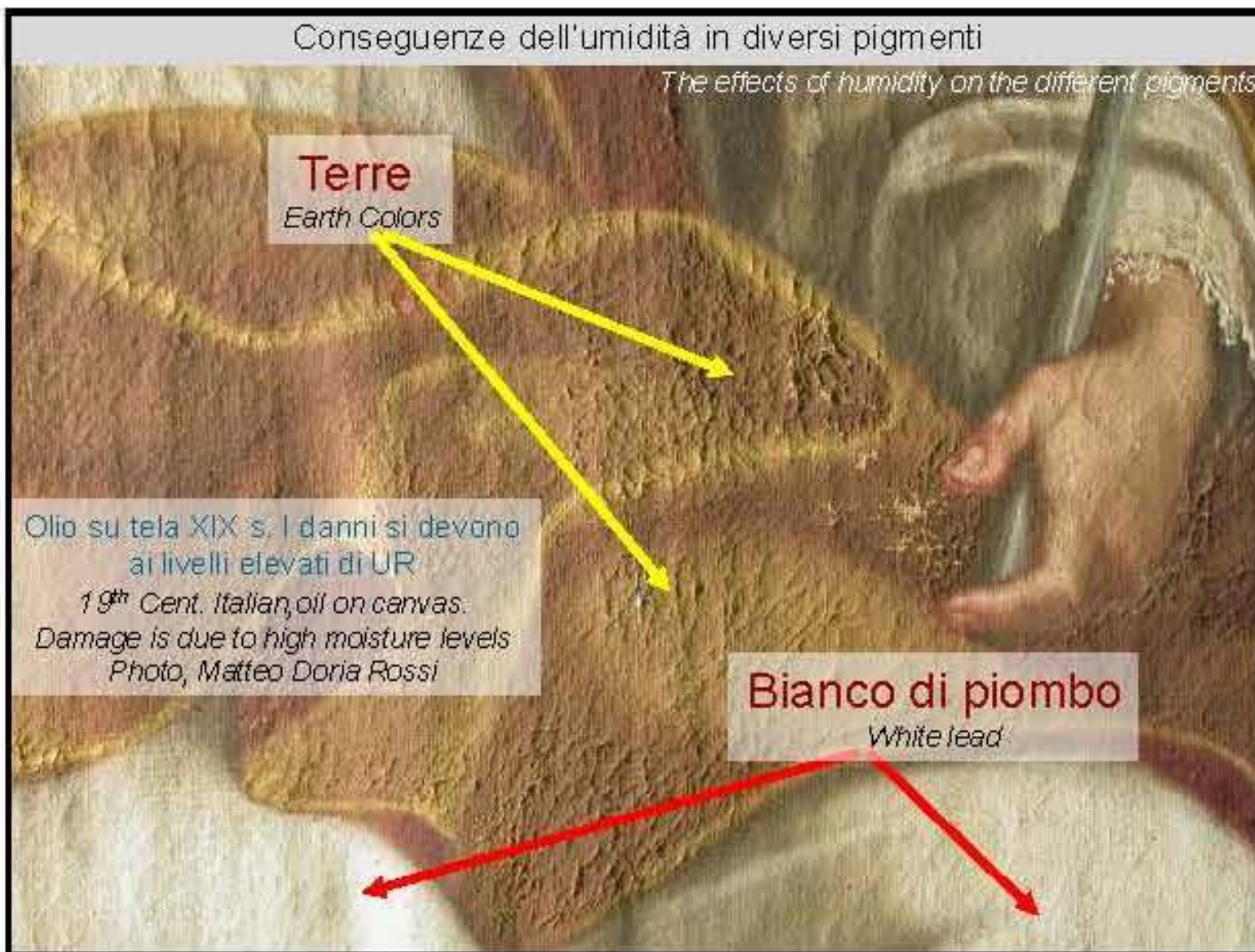


Re

Pigmenti Bianchi:

risultano più stabili alle oscillazioni di UR (in particolar modo il Pb, ma anche Ti e Zn sono decisamente più stabili rispetto alla terra d'ombra bruciata).

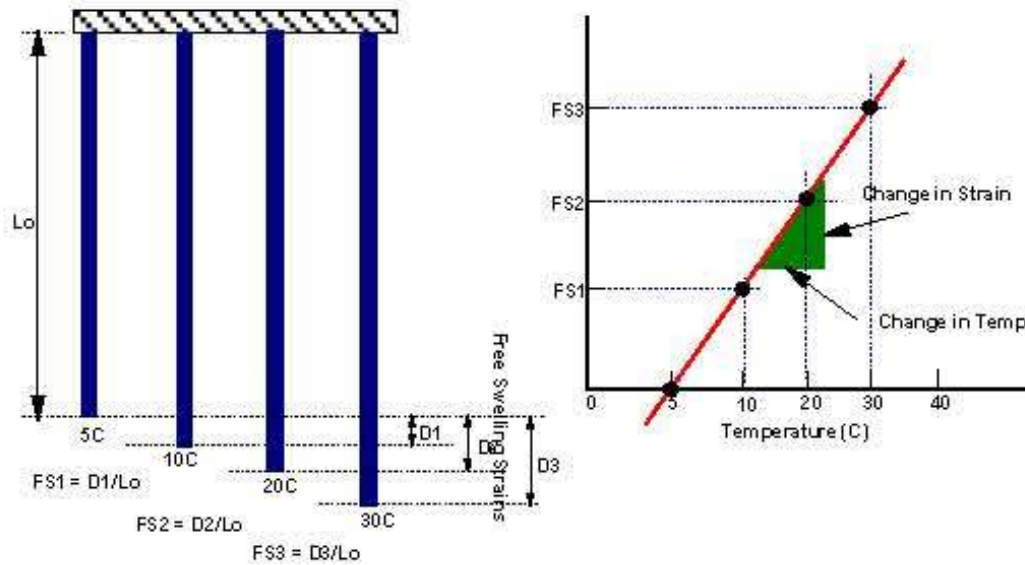




Coefficiente di espansione per temperatura (α) *The thermal coefficient of expansion (α)*

$$\alpha = \Delta \epsilon / \Delta T$$

α = cambio nella deformazione ($\Delta \epsilon$) / cambio nella temperatura (ΔT)



The thermal coefficient of expansion = the change in strain / the change in T

i materiali si deformano al variare della Temperatura anche a UR stabili.

Coefficiente di espansione $\alpha = \Delta \epsilon / \Delta T$

$\Delta \epsilon$ è variazione dimensionale e ΔT Variazione Temperatura

Variazioni di dimensioni con la temperatura

i leganti, o comunque le sostanze filmogene, subiscono le maggiori variazioni dimensionali, e si può individuare **un intervallo di temperatura** che influenza ciascuna classe, in relazione alla **temperatura di transizione vetrosa** (temperatura alla quale i materiali subiscono un cambiamento di fase) specifica.

Per tutti i materiali pittorici la **Tg** (glass Transition) è inferiore alla temperatura ambientale.

Schematicamente:

OLII: $-10^{\circ} \text{ C} < T_g < -5^{\circ} \text{ C}$

ACRILICI: $5^{\circ} \text{ C} < T_g < 10^{\circ} \text{ C}$

ALCHILICO: $TG = 0^{\circ}$

tali materiali raffreddandosi passano da duttili a fragili.

Interessante il caso degli acrilici, polimeri che da rigidi diventano plastici a temperature quasi ambientali, ovvero intorno ai 10° C , elemento da considerare specialmente in caso di trasporti aerei in occasione di prestiti di opere contemporanee.

Deformazione elastica e plastica (v. modulo di Young)

Variazioni di temperatura in materiali) *costretti*

Variazioni di umidità in materiali *costretti*

Danni accidentali (caduta dell'oggetto, urto con altri oggetti)

Tensionamento (nel caso di dipinti su tela)

Altro (peso dell'oggetto stesso,...)

sono alcuni tra i motivi per cui una forza si manifesta

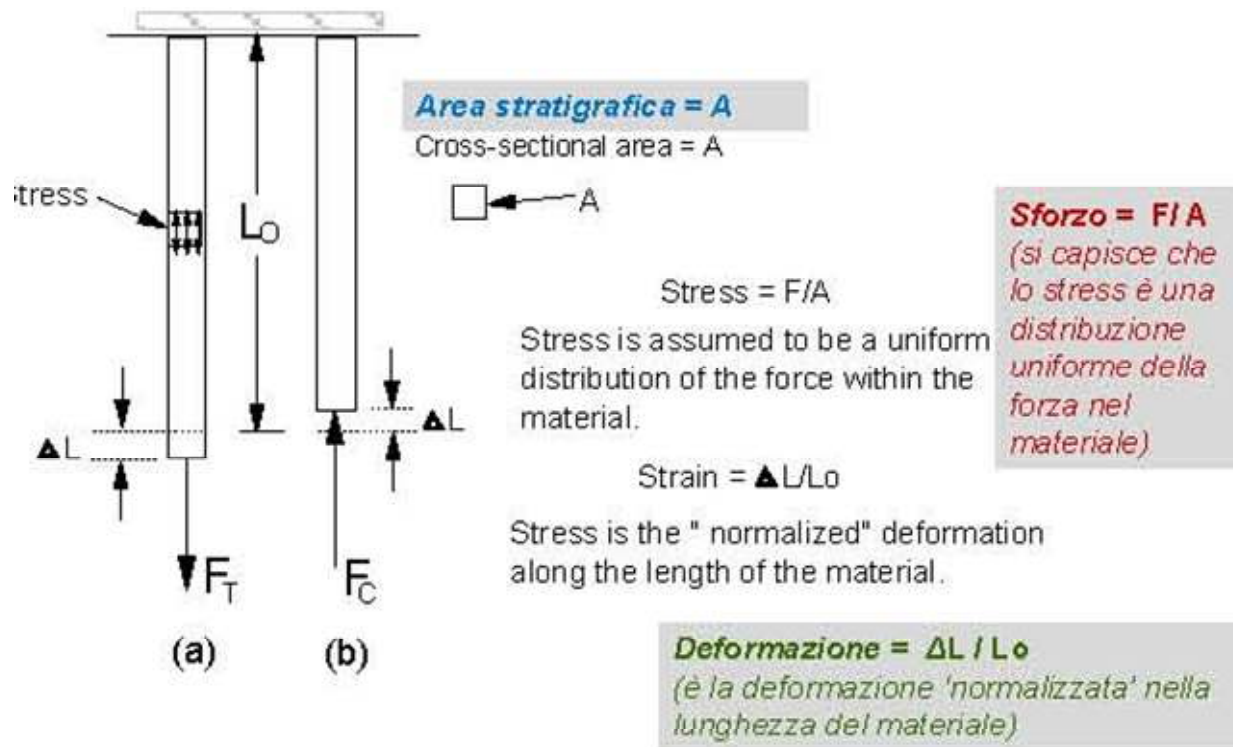
Se il modulo del materiale è alto in condizioni di UR elevata, questo tenderà a presentare caratteristiche di rigidità, mentre i materiali che ad UR elevate presentano modulo elastico basso , questo materiale deformerà più facilmente in ambienti a UR elevata

ECCO PERCHÉ IL VAPORE E L'UMIDITÀ '*AMMORBIDISCONO*' I DIPINTI.

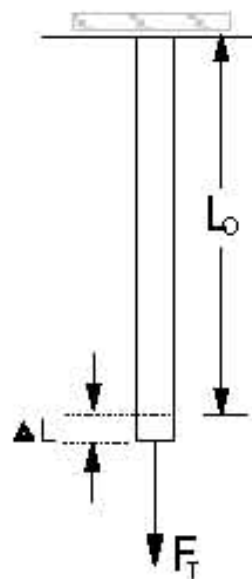
Stress (o sforzo)= distribuzione uniforme della forza sul materiale
(Sforzo=Forza/Area)

Il modulo di young (E) = variazione dello sforzo ($\Delta\sigma$)/variazione della deformazione ($\Delta\varepsilon$) (solo nella regione elastica)

$$\frac{F}{A} = E \cdot \frac{\Delta L}{L}$$

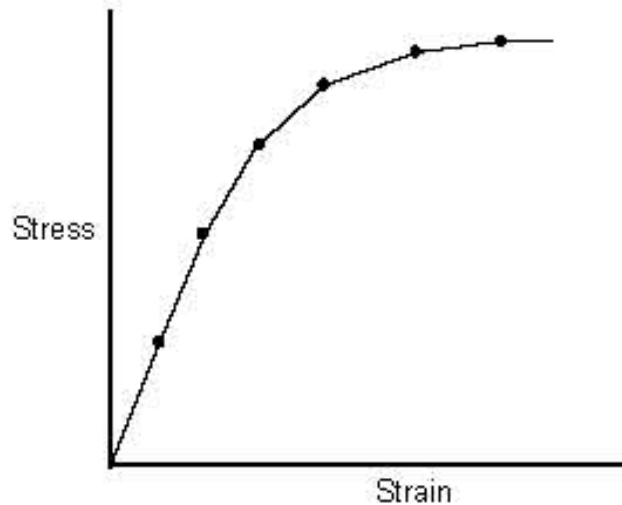


Stress (o sforzo) = distribuzione uniforme della forza sul materiale
(Sforzo = Forza/Area)



$$\text{Stress} = F/A$$

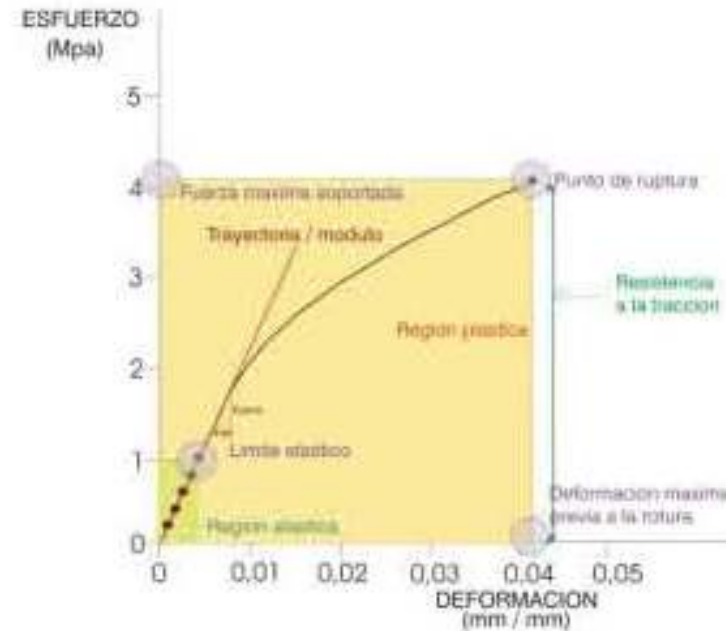
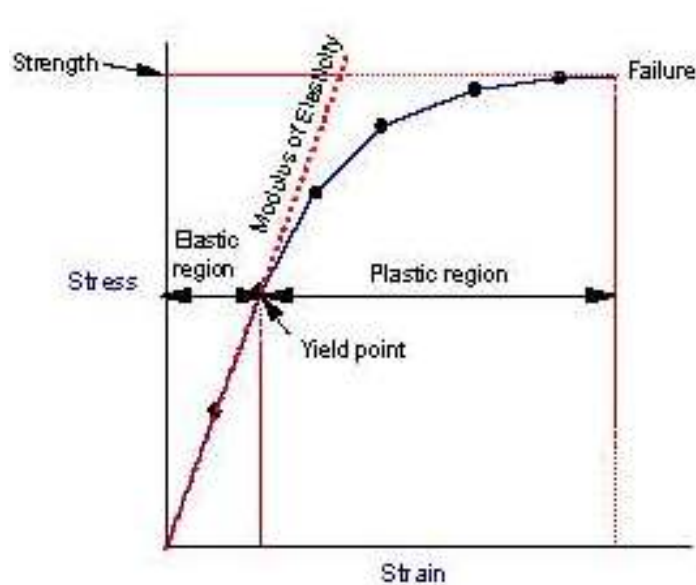
$$\text{Strain} = \Delta L/L_0$$



Se le forze incrementano nel materiale, questo incrementa anche la sua deformazione

Il modulo di young (E) =
 variazione dello
 sforzo
 $(\Delta\sigma)$ /variazione
 della
 deformazione
 $(\Delta\varepsilon)$ (solo nella
 regione elastica)

Deformazione elastica e plastica



il **Módulo** di un materiale (**E**) e' il cambio nello sforzo diviso per il cambio nella deformazione soltanto nella regione elastica

NB:

Anche i pigmenti possono influenzare la capacità elastica di uno strato (come visto in prima battuta con gli esempi della terra d'ombra bruciata e dei bianchi).

Schematicamente :

Film a base di Pb: resistenti e duri

Film a base di Cu: stabili

Film a base di Bianco di Ti: rigidi ma deboli

Film a base di Bianco di Zn: molto fragili

Film a base di Terre: molto deboli

In generale è possibile affermare che:

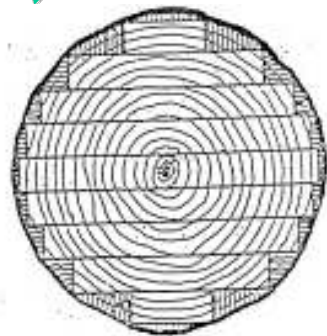
TUTTI I METALLI INFLUENZANO LE
CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI FILM
(PREPARAZIONI, FONDI CROMATICI, FILM
PITTORICO), FORMANDO PELLICOLE FRAGILI O
RESISTENTI SIA ALLE VARIAZIONI DI
TEMPERATURA, SIA A QUELLE DI UMIDITÀ, SIA
ALLA PULITURA.

Ad esempio in un provino diviso a metà, con le due diverse preparazioni ed una stesura oleosa nera comune ad entrambe il cretto si verifica molto più vistosamente nella porzione preparata con bianco di zinco.

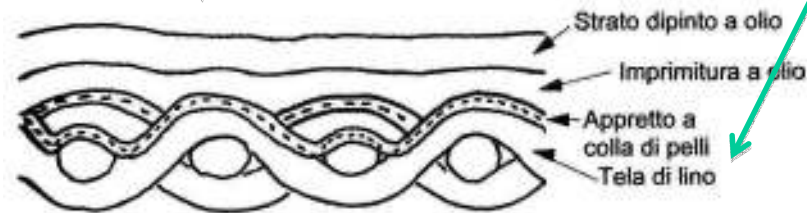
Dipinti su Tela

La condizione di un **dipinto su tela** di essere **vincolato ad una struttura di sostegno** risulta affine a quella dei campioni *costretti* sui quali è stata condotta la sperimentazione; la complessità della struttura tuttavia complica le cose, dovendo considerare non solo la deformazione registrata da ciascun elemento costitutivo al variare di determinate condizioni (ambientali), ma anche **l'interazione che tali deformazioni hanno l'una con l'altra**, e quanto il vincolo influenzi ulteriormente il comportamento dei materiali ed il modo in cui le forze si distribuiscono scaricandosi sui vari elementi.

Si pensi, ad esempio, alle strutture di sostegno, telai spesso lignei, di essenze e di tagli differenti (**Radiale, sub radiale, tangenziale**; ciascun tipo di taglio risponde in maniera differente alle variazioni di UR sia per **entità** sia per **modello di deformazione**) che al variare di UR registrano variazioni dimensionali; tali variazioni **creano forze a carico della tela** (anch'essa peraltro **sensibile alle variazioni igrometriche**), vincolata **alla struttura di sostegno**, che si distribuiscono sugli **strati preparatori e pittorici** (a loro volta influenzati dalle condizioni termo igrometriche).

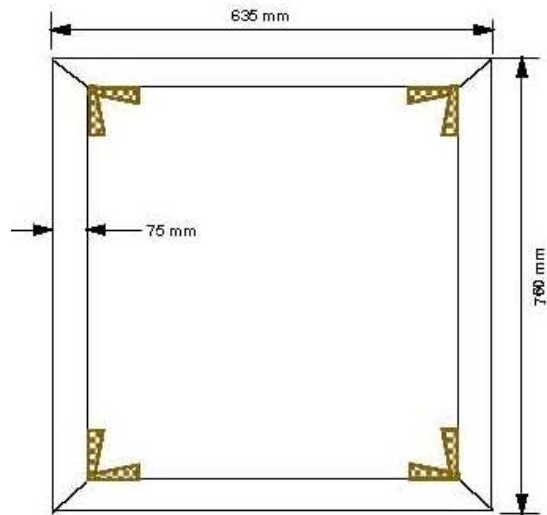


Bu. Rag. R



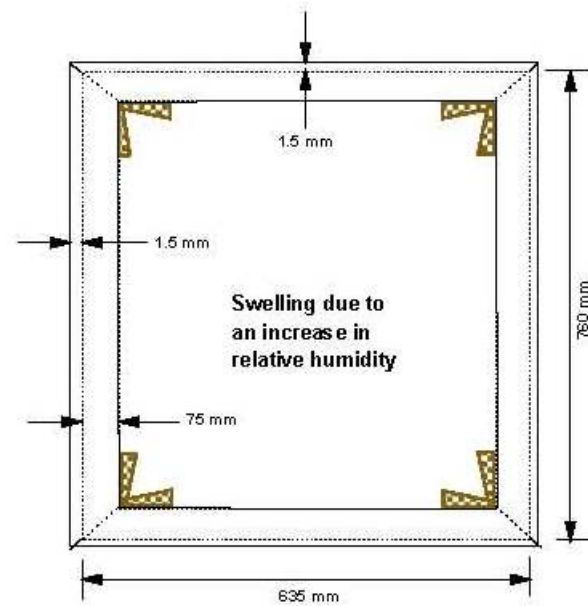
Tipico dipinto su tela

1) La costruzione di un tipico dipinto su tela

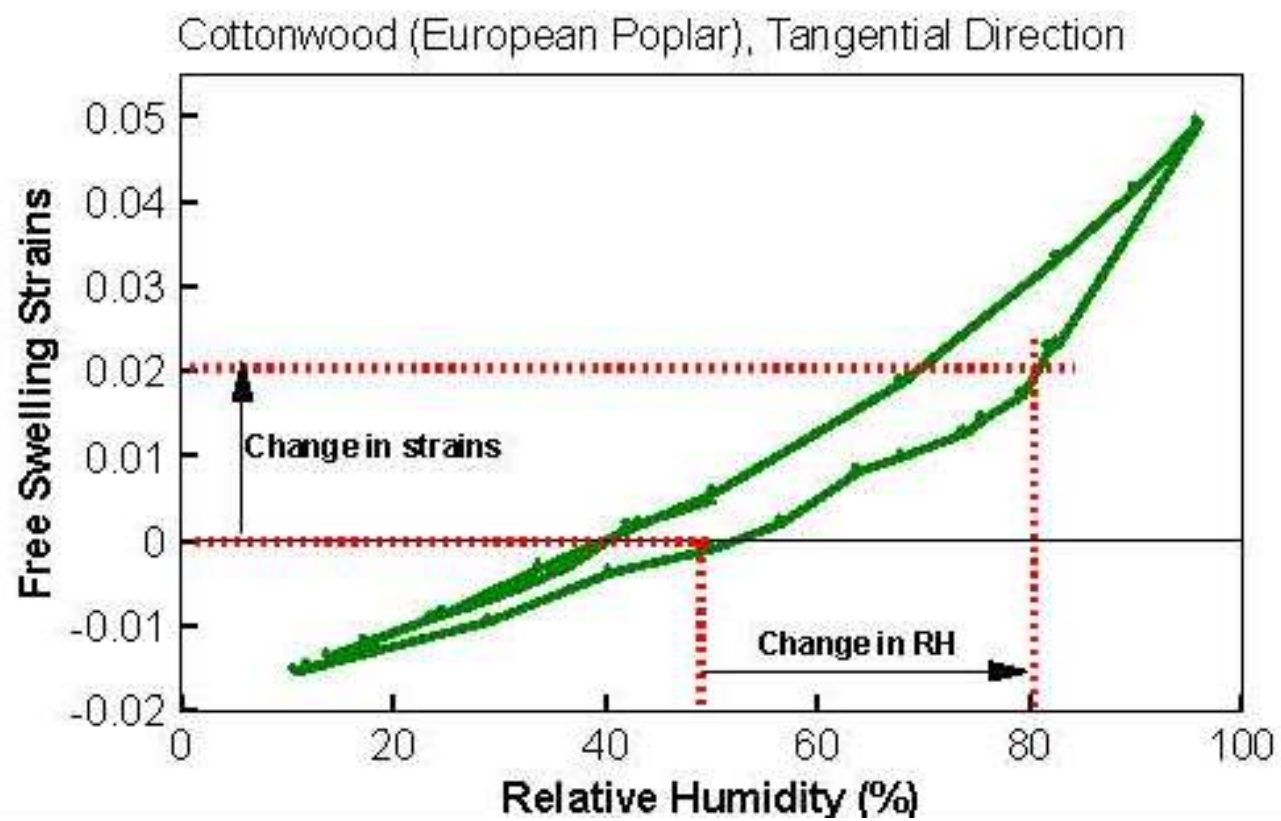


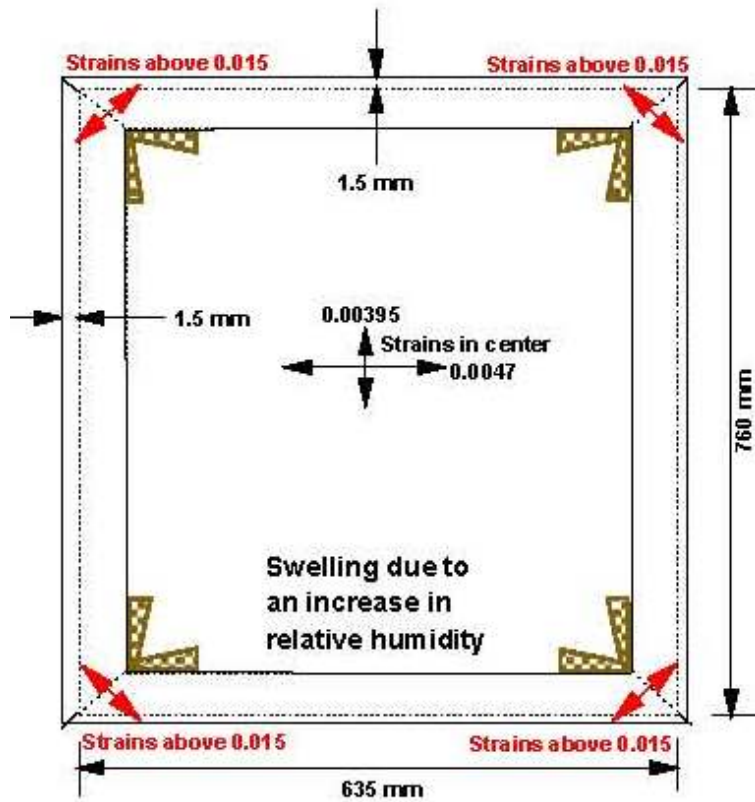
Telaio in pioppo

Cambio dell'umidità dal 50% all'80%;
cambio nella deformazione del legno:
 $75\text{mm.} \times 0.02 = 1.5\text{mm.}$

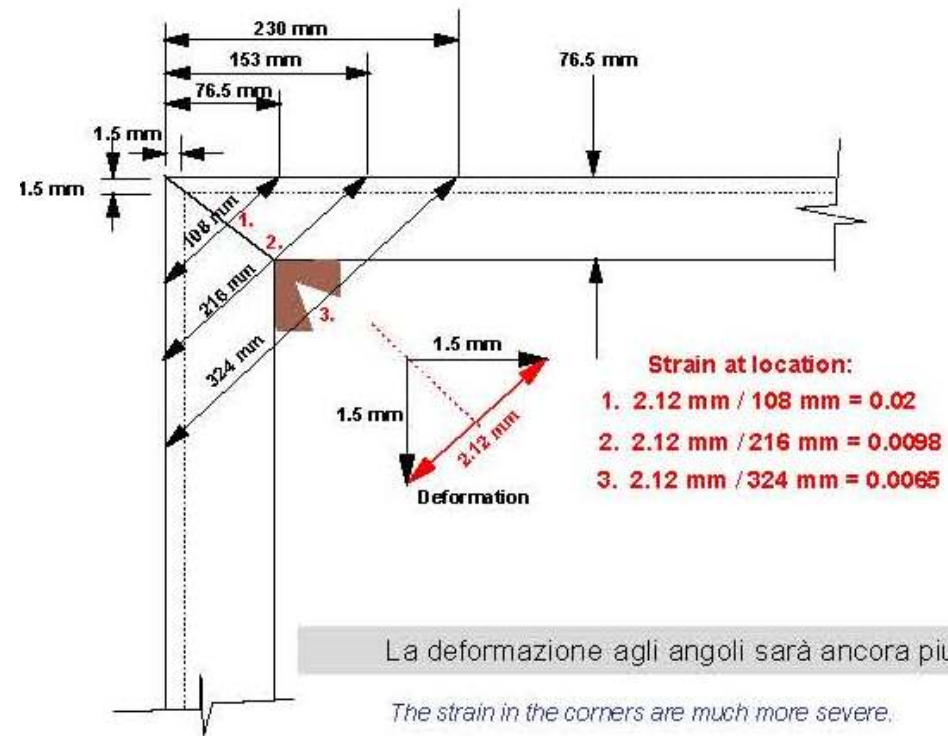


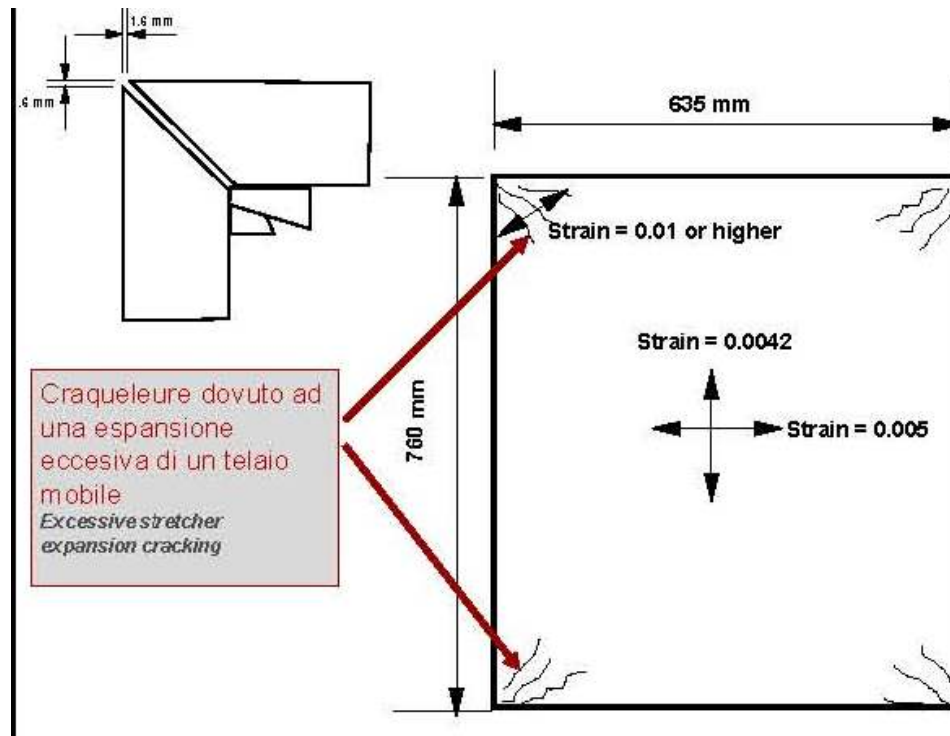
Rappresentazione grafica





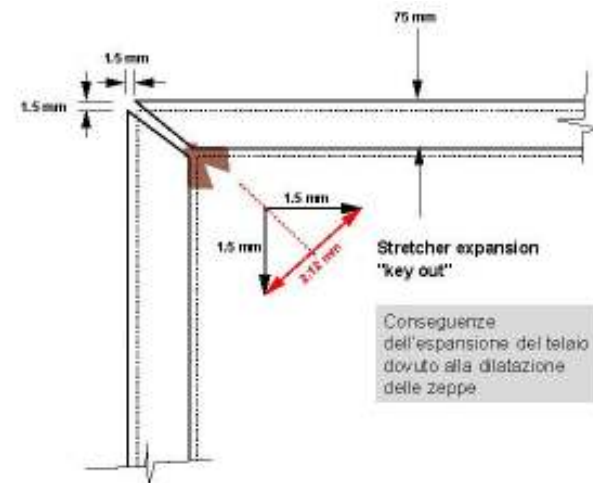
La distribuzione delle forze segue uno schema ben definito che vede come **aree maggiormente sottoposte a stress quelle angolari** mentre sono altre le cause che interessano le porzioni centrali di dipinti

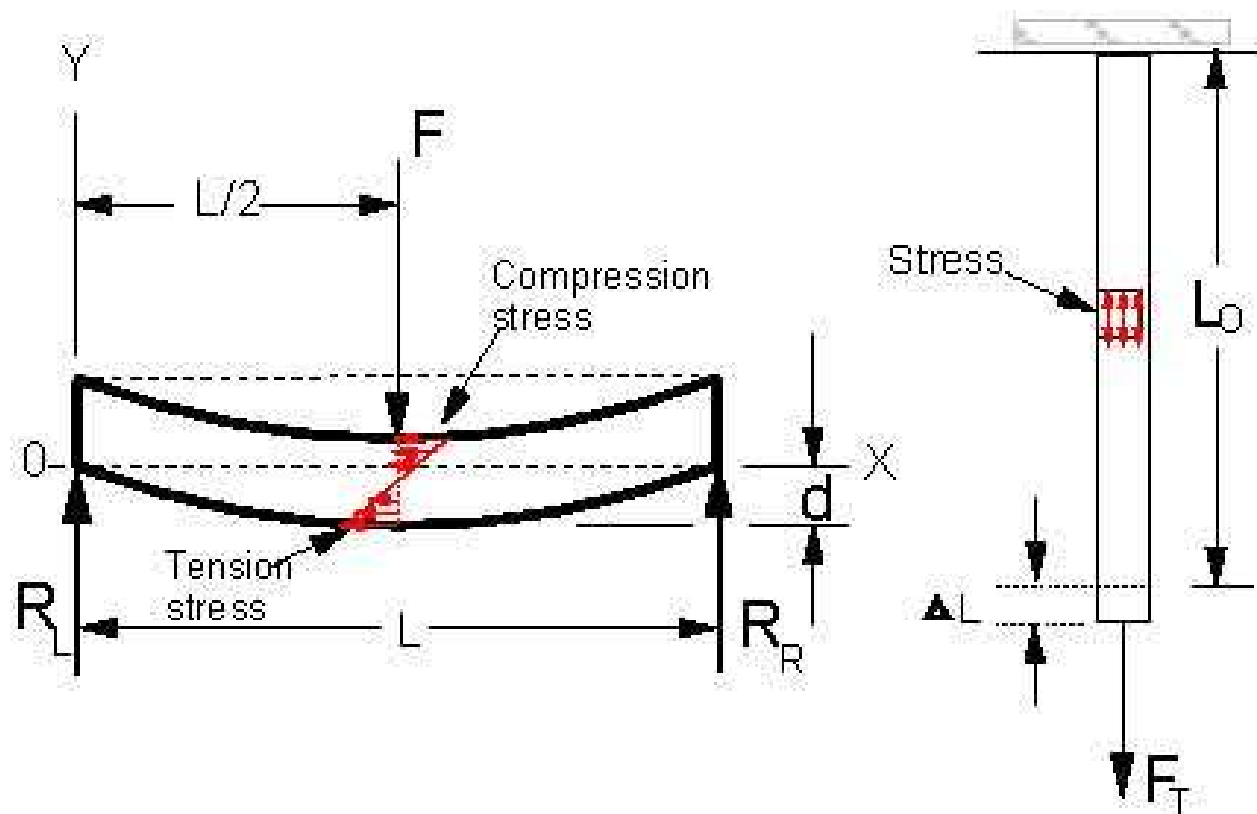




I materiali degli strati pittorici risponderanno **prima elasticamente** (un primo intervallo di *sopportazione allo stress del materiale*), poi **plasticamente, ma senza rottura** (secondo intervallo di sopportazione allo stress), e quindi, superata la soglia di resistenza, la deformazione plastica (per definizione permanente) **presenta rotture** più o meno rilevanti.

NB: degradi a carico delle **porzioni centrali**, da attribuire a molteplici cause, tra le quali interessante è quella della contrazione del colore per alcuni pigmenti molto sensibili alle variazioni di UR (es: terre; cfr. quanto detto sopra, ad esempio, sulla terra d'ombra naturale).

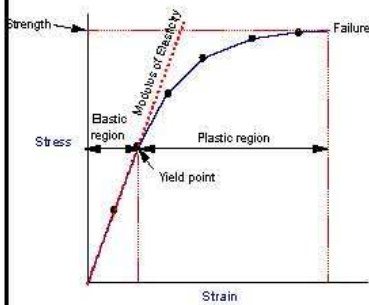




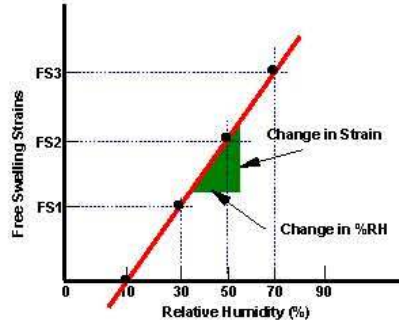
Per una forza fissa la modificazione del modulo NON cambia la **magnitudine** dello sforzo neanche **come venga distribuito** tale sforzo. Cambia la deformazione.

Rapporto fra le proprietà meccaniche e le proprietà dimensionali

Relating mechanical properties to dimensional properties

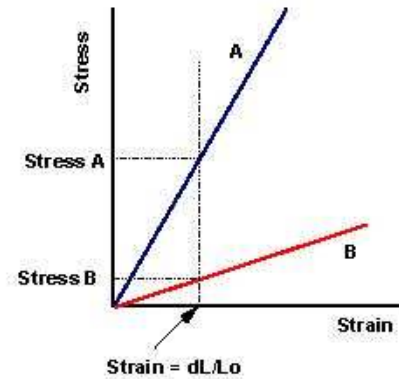
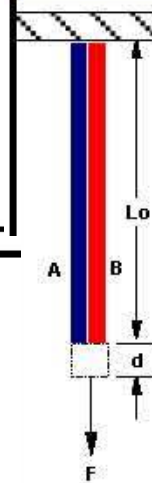


$$E = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon$$



$$\gamma = \Delta\varepsilon / \Delta RH$$

Piu' di un materiale unito More than one material bonded together

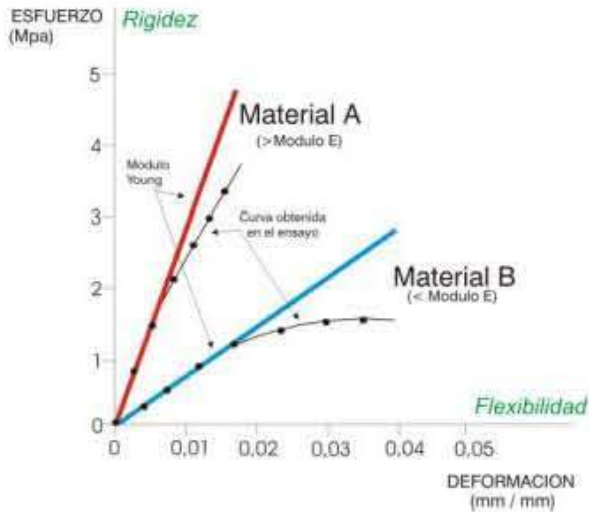


•The material with the higher modulus (the stiffer material) will have the highest stress.

•The material with the lower modulus will have the lower stress.

•So it would be ideal to have the support of a painting have the higher modulus.

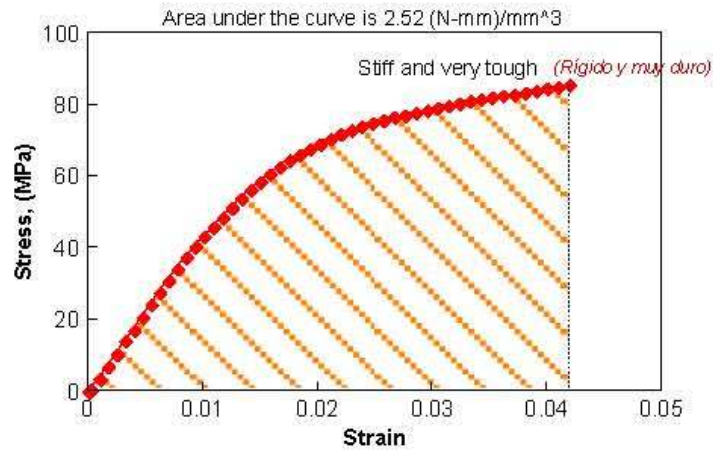
- il materiale con il modulo piu' elevato (il materiale piu' rigido), sperimenterà le **maggiori tensioni**.
- il materiale con el modulo piu' ridotto sperimenterà le **minori tensioni**.
- Per ciò l'ideale sarebbe che il **supporto di un dipinto avesse un modulo elevato**



- Il **modulo** di un materiale è la misura della sua rigidità
 - Un *modulo elevato* indica un materiale **rigido**
 - Un *modulo basso* indica un materiale **flessibile**

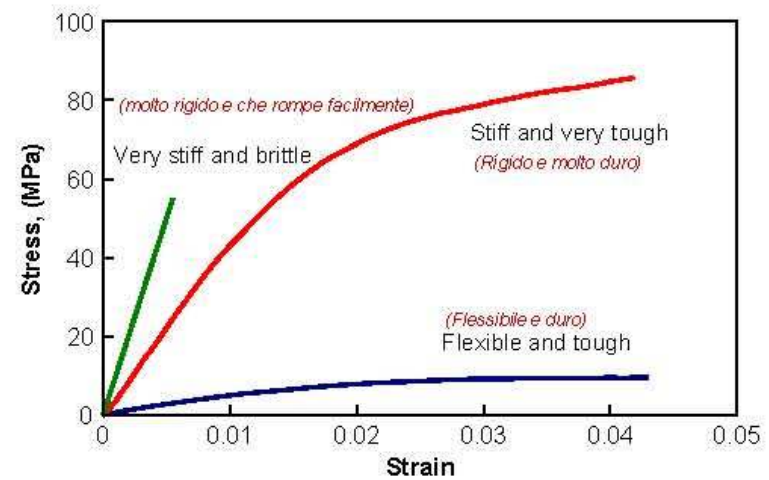
La durezza di un materiale viene indicata per l'area sotto la curva

The toughness of a material is the area under the curve.

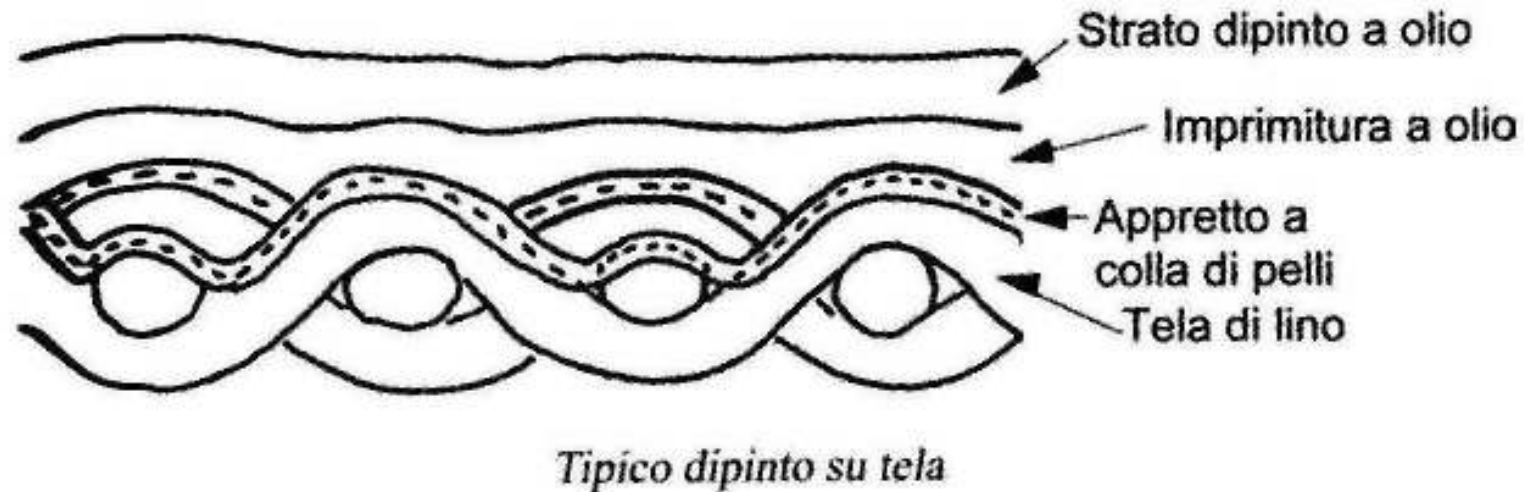


Descrizione del comportamento di un materiale

Descriptions of material behavior



Dipinti su Tela

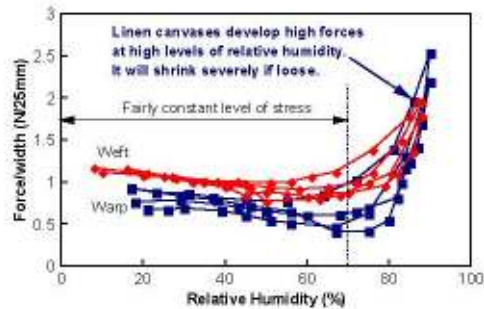


1) La costruzione di un tipico dipinto su tela

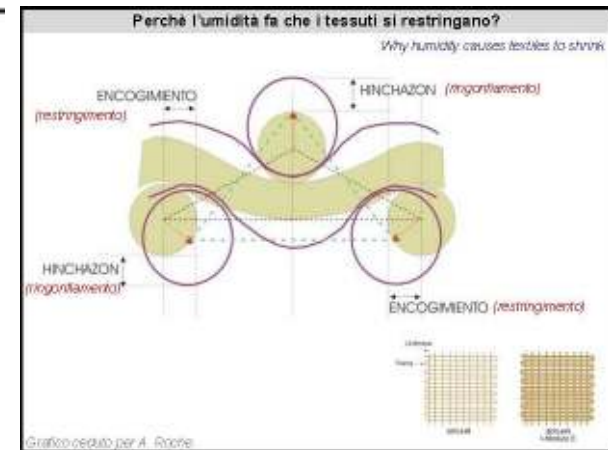
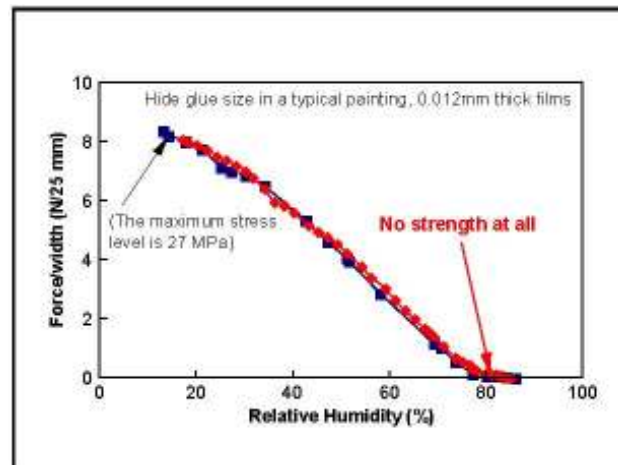
Rispetto ad altri materiali presenti nel sistema dipinto (strati) **la tela non presenta significative variazioni dimensionali** al variare dell'UR (nemmeno oltre il 70%), e specialmente per ciò che riguarda i fili di trama (solo dal 1838 introdotte le tessiture con la torsione del filato, usate poi nella produzione industriale. Tale tipo di tessitura comporta restringimento maggiore).

Dipinti su Tela

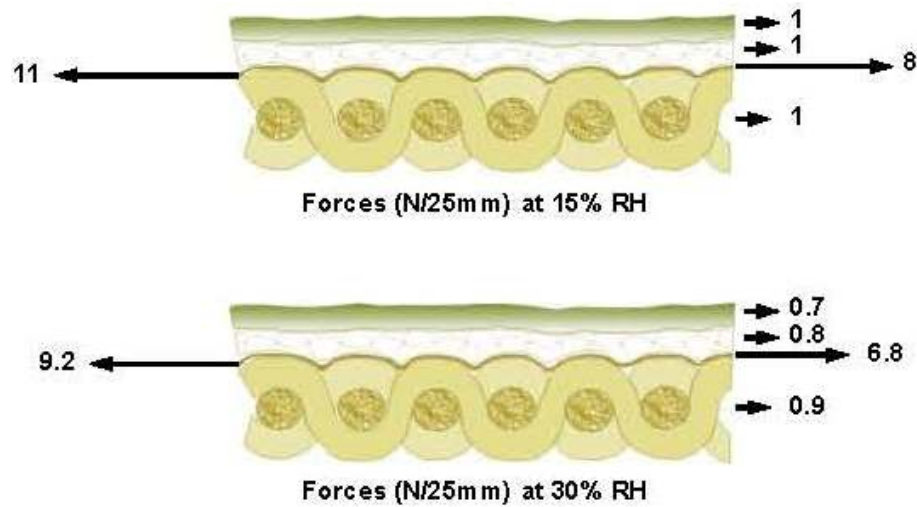
E' il sottile strato di *appretto* che sviluppa le maggiori tensioni , e che di conseguenza svolge la funzione di supporto. L'effettiva sensibilità delle colle alle variazioni di UR corrisponde bene a quanto percepito a carico della tela in caso di variazioni di UR. Più chiaramente: tutti gli effetti che macroscopicamente attribuiamo alla tela in caso di variazioni igrometriche sono da **attribuire alla risposta dello strato di appretto all'umidità**. Ad umidità elevate lo strato perde forza, rigonfiando, e non è più in grado di conferire rigidità al supporto.



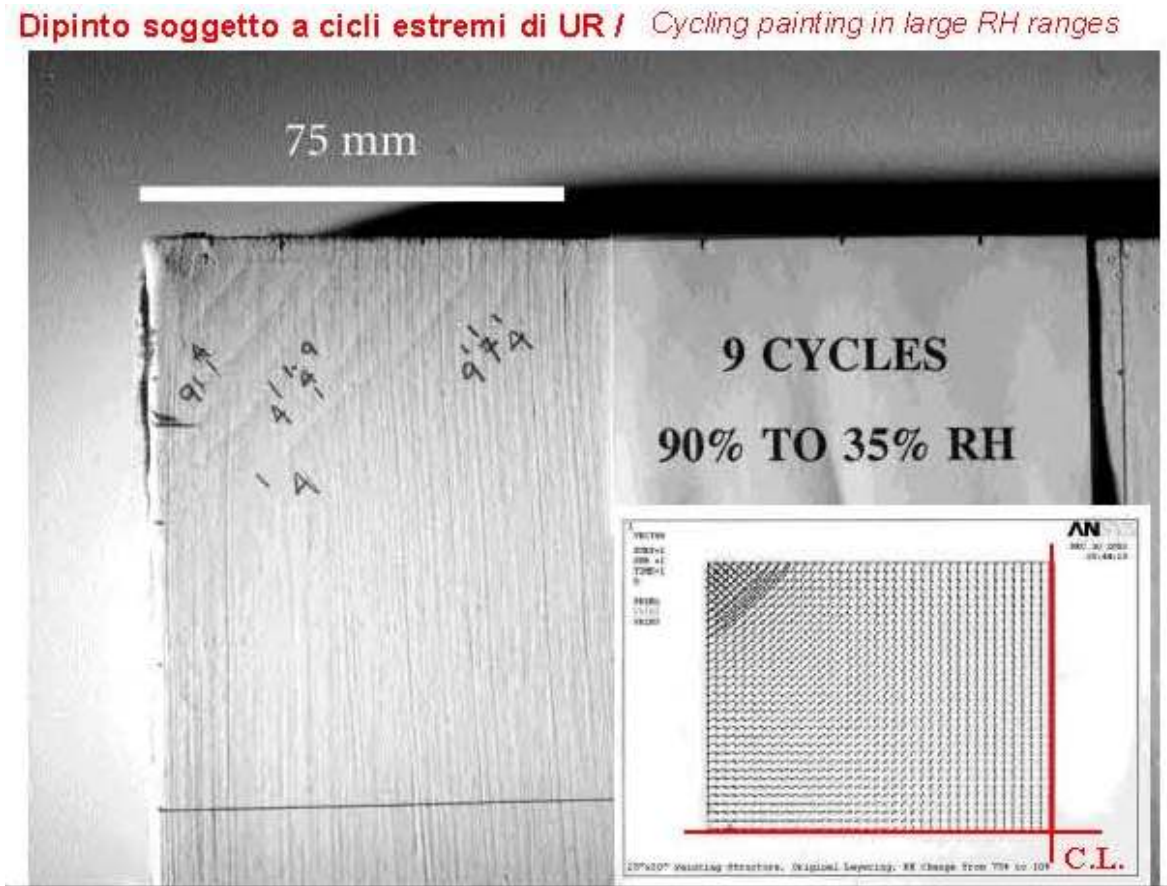
Le tele di lino sviluppano elevate forze con livelli elevati di UR. Sperimentarono un drammatico ritiro se perdono la tensione.

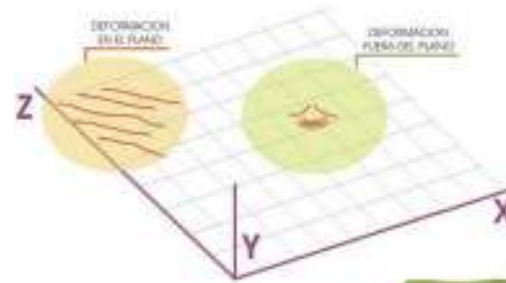


L FILM OLEOSO NON PRESENTA SENSIBILITÀ ALLE VARIAZIONI DI UR, MA RISPONDE DIMENSIONALMENTE (ELASTICAMENTE, PLASTICAMENTE E CON ROTTURE) ALLE FORZE CREATE DAGLI ALTRI ELEMENTI.

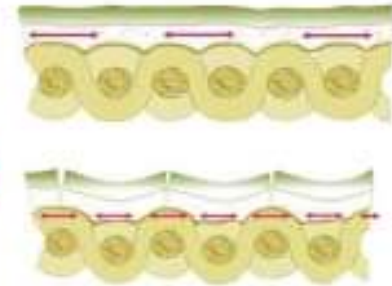


La sperimentazione ha verificato che il cretto causato dai cicli di variazione di UR c'è solo per i primi 9 cicli di variazione, dopo i quali lo stress non è sufficiente a creare nuove rotture, perché quelle verificatesi rappresentano una valvola di sfogo per le forze presenti. È possibile che un dipinto che abbia già subito sbalzi di UR o T° C e abbia sviluppato alcune rotture possa meglio sopportare successive variazioni termigrometriche.



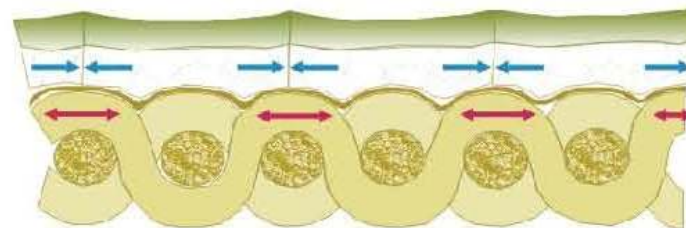


Allineamento assiale di forze
The concept of axial alignment of forces.



Reallineamento di forze, elevata umidità

Realignment of forces, high humidity

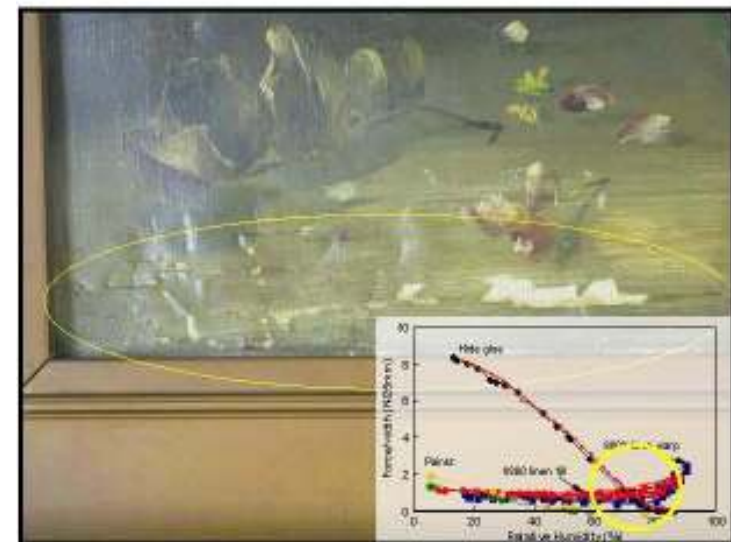




Conseguenze dell'azione dell'acqua liquida: la tela restringe, la colla animale viene deteriorata e lo strato di preparazione si separa e cade

Results of liquid water, the canvas shrank, glue size failed, and the design layer cleaved.

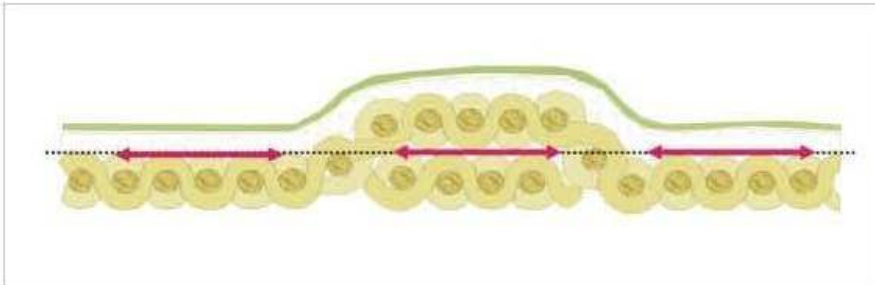
Buscaglia- Romero



Restauro-ambiente

**Reallineamento di forze
quando c'è una toppa al
retro di un dipinto**

*Realigning of forces when there
is a patch on the back*



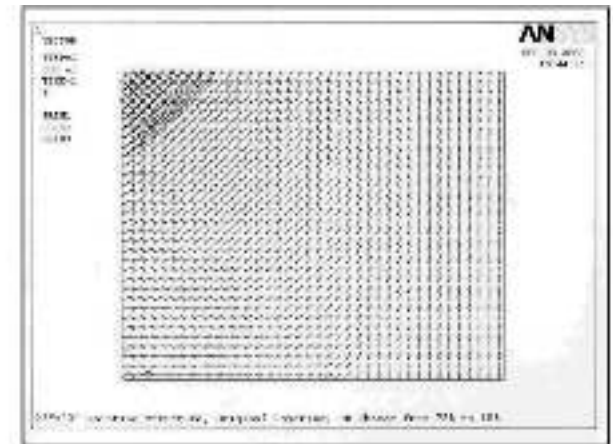
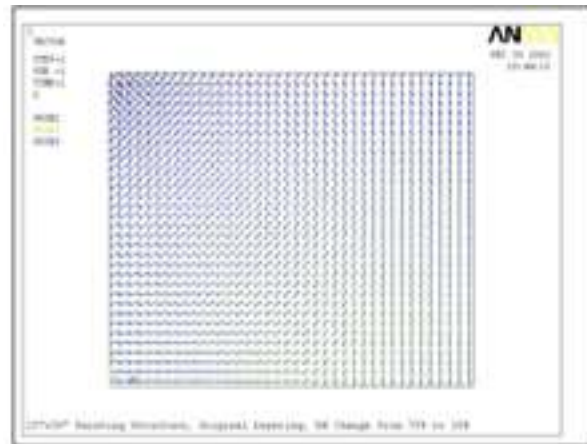
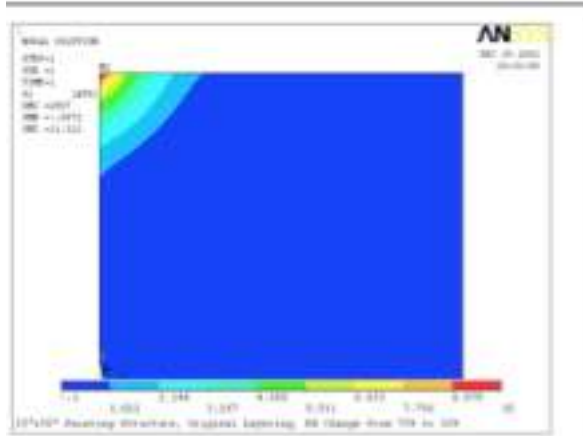
È possibile evidenziare l'esistenza di toppe nel recto/fronte di un dipinto su tela.
Repair patches (shown) through the front of a canvas supported painting. Photo courtesy of Matteo Rossi Doria.



È possibile evidenziare l'esistenza di toppe nel recto/fronte di un dipinto su tela.
Repair patches showing through the front of a canvas supported painting. Photo courtesy of Matteo Rossi Doria.

Modelli computerizzati di dipinti:

la complessa struttura stratigrafica delle tele impone di valutare oltre ai singoli elementi anche la loro interazione reciproca, e per questo sono stati studiati dei modelli computerizzati che rielaborano le caratteristiche tecnologiche dei singoli materiali e permettono di individuare con maggiore facilità il ruolo da loro giocato. Comune a tutti gli elementi della tela è la **variabile di deformazione (strain)**, **individuato come coefficiente E**, per ciascuno degli elementi.



I dipinti su tela e gli effetti della bassa temperatura:

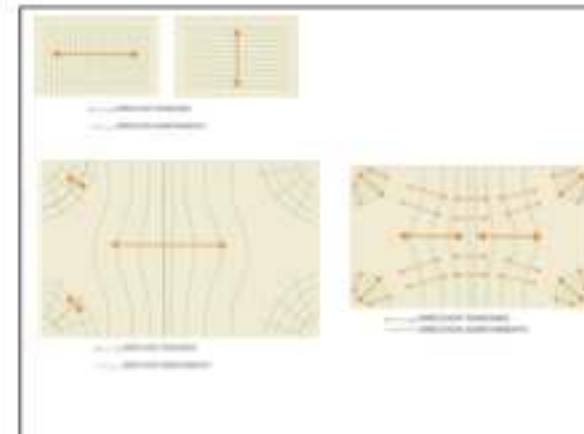
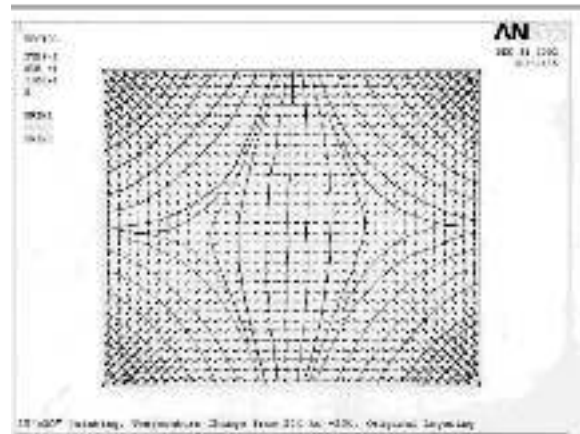
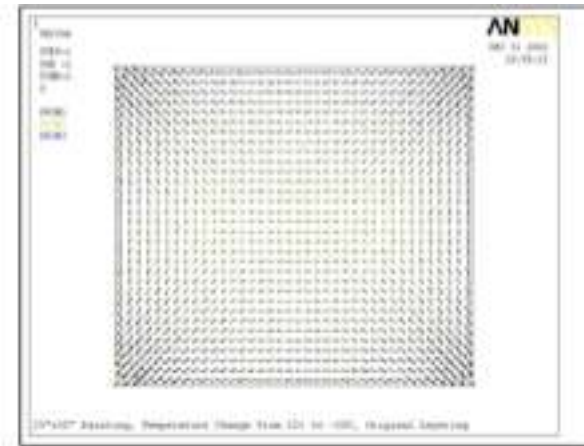
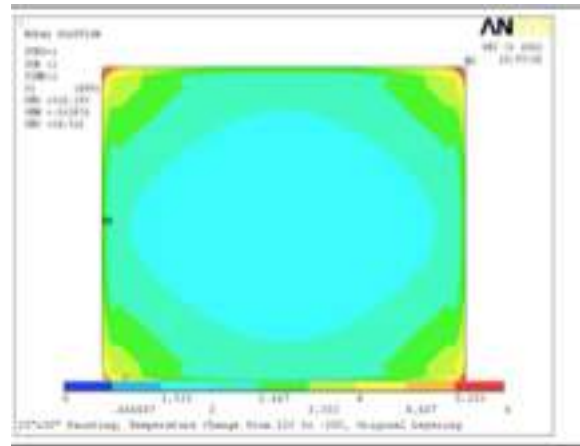


il degrado del film pittorico nelle porzioni centrali del dipinto oltre alle cause già dette ha anche la variazione della temperatura ambientale.

A **basse temperature** la capacità degli strati pittorici di resistere elasticamente o almeno plasticamente alle forze esercitate si riduce drasticamente, **umentando la fragilità di tali strati** e provocando spesso **vistosi degradi** con andamento verticale in corrispondenza delle porzioni centrali dell'opera.

Sono molto interessanti le immagini di cretti di casi reali a confronto con i quelli modelli computerizzati.

Considerando che gli olii resistono ad intervalli abbastanza ampi di variazioni igrometriche (indicativamente 40% UR ° "15%), in pi. casi del previsto sembrano essere le basse temperature le vere responsabili di molte rotture degli strati pittorici.



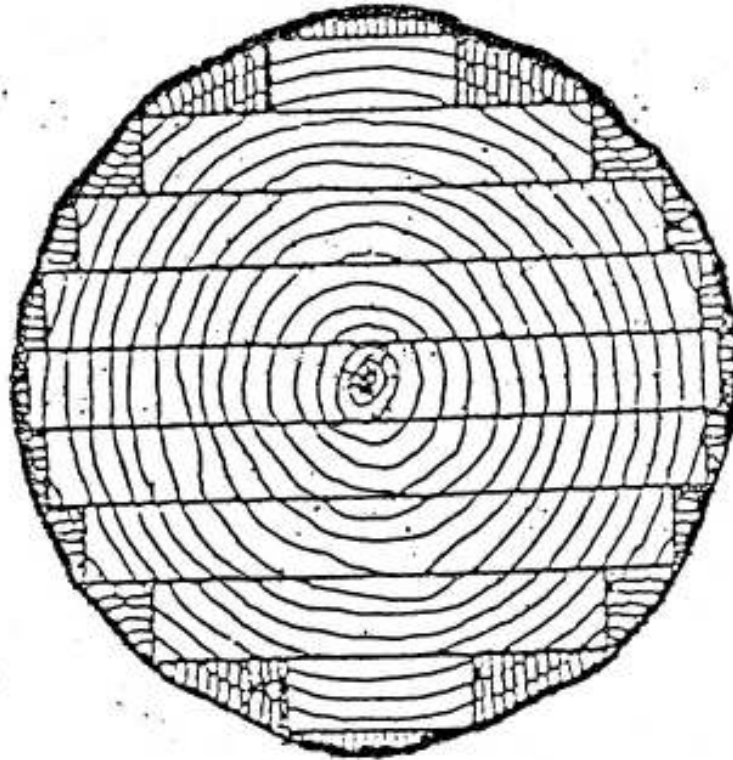
Dipinti su Tavola

I **dipinti su tavola sono sistemi più complessi** rispetto ai dipinti su tela, in quanto i loro materiali costitutivi risultano per natura più influenzati dalle variazioni di UR nell'ambiente.

La natura stessa del supporto, a differenza delle tele, presenta **acqua chimicamente legata** alle fibre del legno, e la percentuale di tale acqua varia in relazione all' UR dell'ambiente, con il quale tende, in tempi relativamente lunghi, a mettersi in equilibrio.

Il legno sviluppa un fenomeno di isteresi, ovvero presenta un intervallo di acqua libera che varia al variare dell'umidità relativa dell'ambiente di conservazione.

Il taglio del legno e la specie di provenienza determinano la maggiore o minore stabilità alle variazioni termo igrometriche e le modalità di variazione dimensionale del supporto stesso.



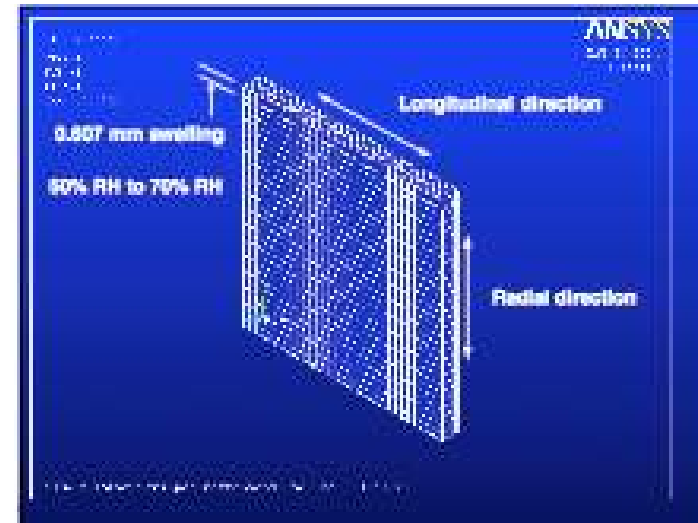
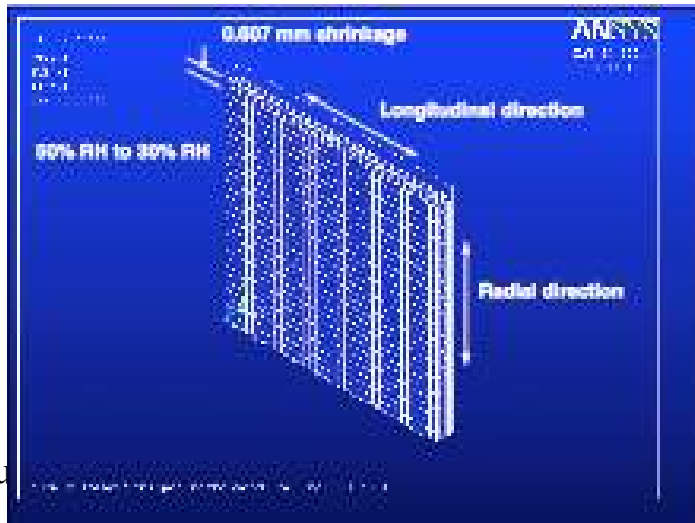
Anche la scelta del **tipo di essenza** da utilizzare come **supporto della pittura**, in quanto la morfologia e l'andamento delle fibre determinano a loro volta stress (e di conseguenza degradi specifici) a carico degli strati preparatori e pittorici. L'esperienza del restauratore conferma questo: l'andamento del cretto dei dipinti su supporto ligneo segue andamento perpendicolare a quello delle fibre.

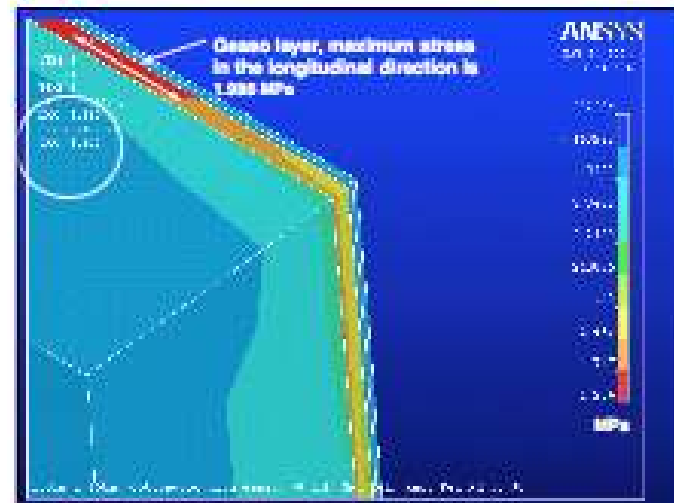
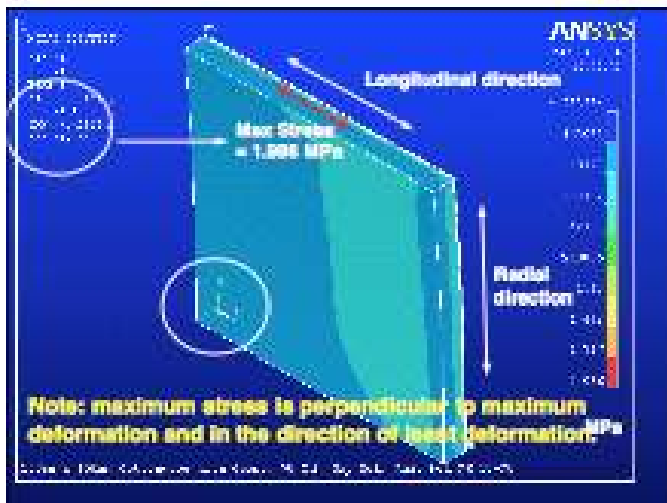
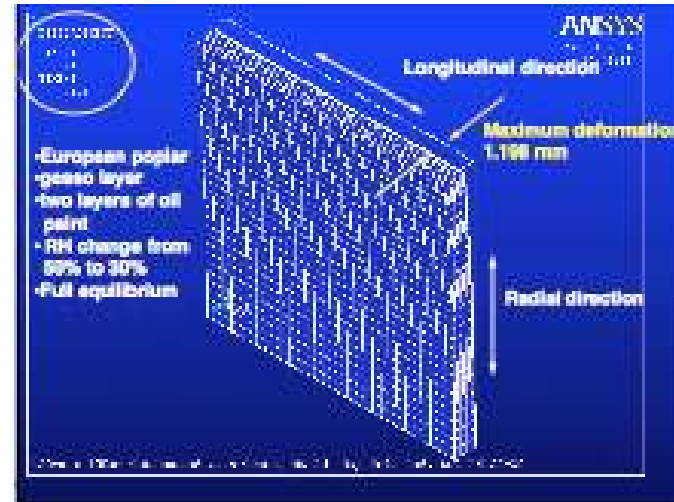
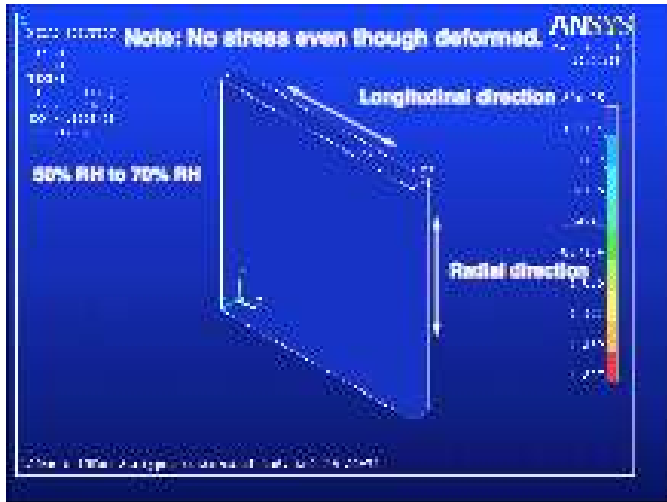


Dipinti su Tavola

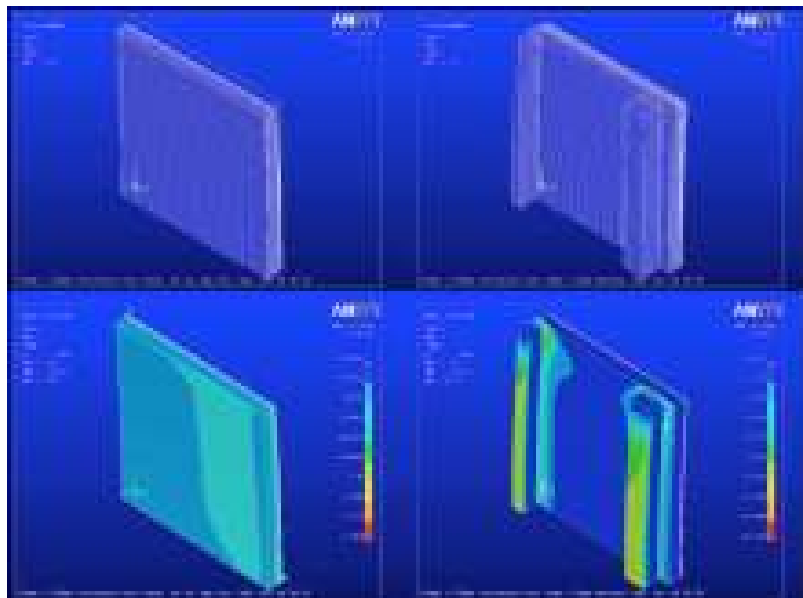
Si aggiunge quindi **una variabile (molto complessa** in quanto a sua volta somma di variabili) rispetto a quanto visto nel sistema *dipinti su tela*, che va a **complicare ulteriormente il complesso di forze e tensioni relative che si scaricano sugli strati preparatori e pittorici.**

Se si pensa poi a quanto detto circa le tensioni esercitate dalla colla ad UR ‘normali’ ed il suo comportamento in caso di variazioni igrometriche, sarà a maggior ragione comprensibile la complessità del sistema *dipinto su tavola*, **in quanto spesso preparato con più strati di preparazione a gesso e colla oltre a presentare, in un considerevole numero di casi, una *incamottatura*, totale o parziale, applicata con colla animale.**





Lo sviluppo di forze (e tensioni) a carico dell'opera si verifica maggiormente, analogamente ai dipinti su tela, su legni vincolati rigidamente (che presentano dunque strutture di contenimento incollate o inchiodate), in quanto per natura il legno risponde dimensionalmente in un modo quasi elastico alle variazioni di UR laddove vincolato. Solo nel caso in cui il supporto risulta bloccato si verificano le rotture (fenditure, fessurazioni); si i verifica una differente soglia di rottura a seconda della natura del legno.



Parchettatura o intelaiatura

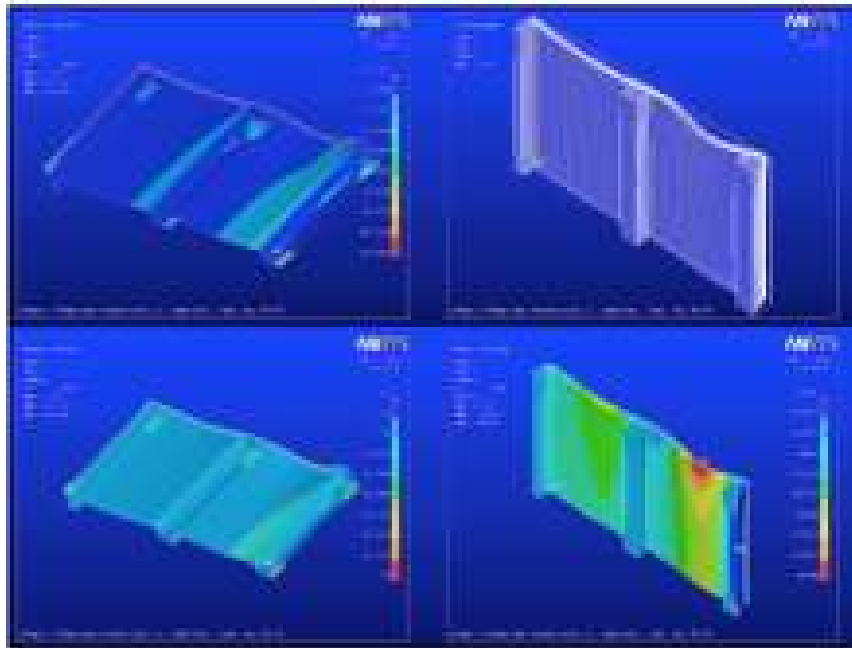
Creating

Una parchettatura o intelaiatura ha traverse / assicelle, a incastro incollate direttamente al retro della tavola, ma parallele alla venatura della tavola.

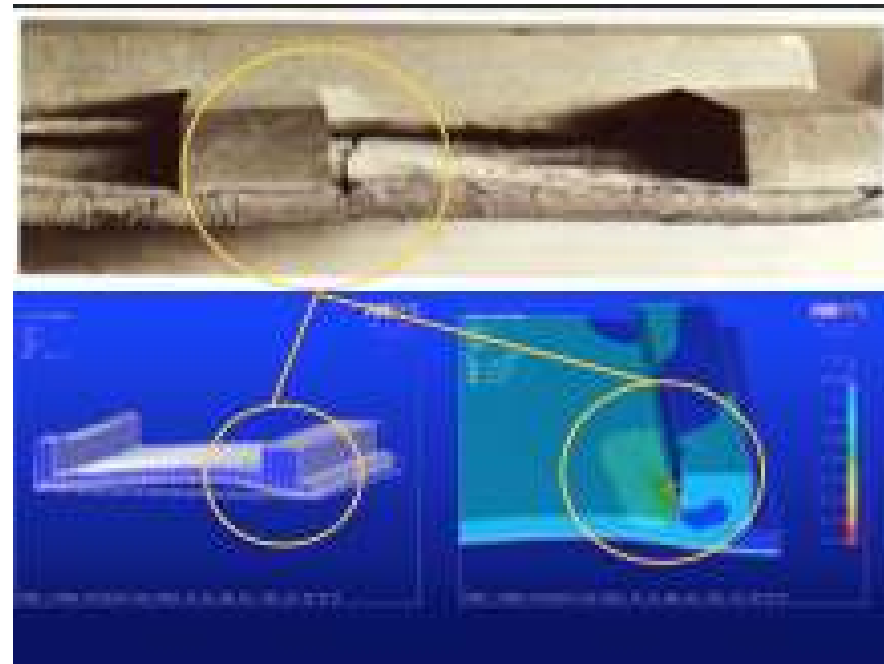
As a rule, the board "barrier" goes directly to the back of the panel but parallel to the grain of the panel.

Inoltre, la parchettatura o intelaiatura ha dei pezzi infissi nelle scanalature delle tavole, che dovrebbero scorrere in quelle scanalature e permettere alla tavola di espandersi e contrarsi coi cambiamenti di umidità, senza imbarcarsi.

In addition, the board has pieces fixed in the grooves of the boards that are supposed to slide in those slots and to allow the panel to expand and contract with humidity changes without warping.



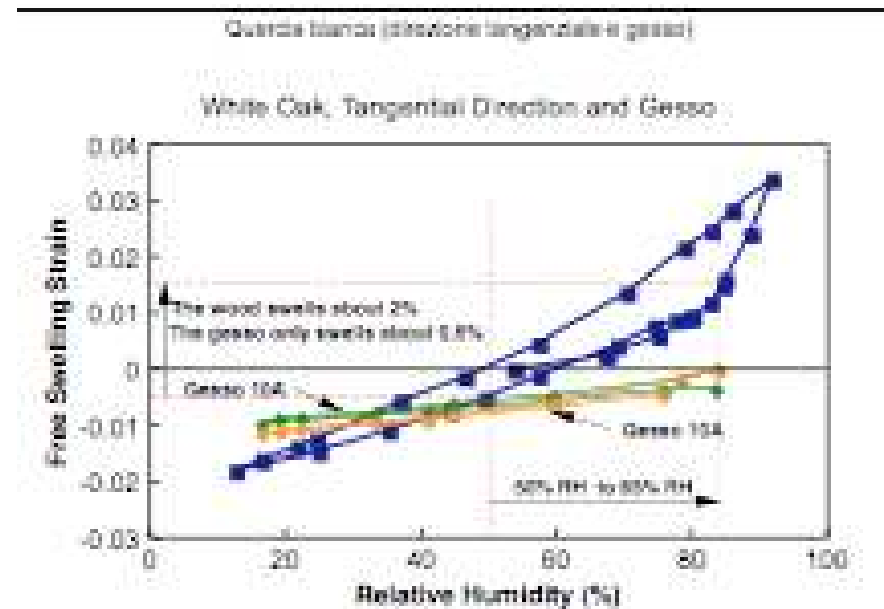
È esperienza di ogni restauratore, la reale deformazione plastica (e quindi permanente) nota come ***imbarcamento***, che si manifesta in corso di invecchiamento e che per morfologia differisce, come più volte detto, di specie in specie.



Dipinti su Tavola

La presenza, nei casi reali, dello strato preparatorio a base di colla, si aggiunge alla naturale forza esercitata dal legno in forma lenta per ciò che riguarda l'imbarcamento da invecchiamento, più veloce in caso di cicli di variazione di UR successivi uno all'altro.

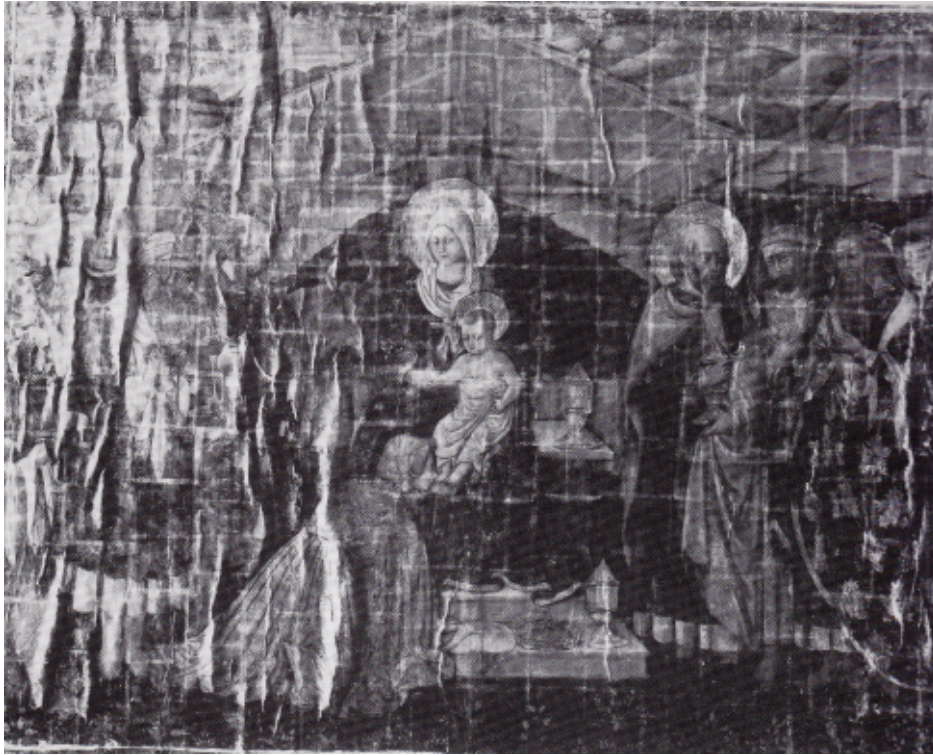
Tale strato infatti, risponde alle variazioni di UR con vistosi cambi dimensionali (lo strato rigonfia ad UR elevate); tale strato, debole in caso di UR oltre il 70%, ma decisamente forte a UR più basse, passa da rigido in ambienti a condizioni 'normali', per poi rigonfiare e rammollire all'innalzamento dell'UR, e quindi, al diminuire dell'UR, ritornare rigido.



Dipinti su Tavola

La velocità di cambiamento (di stato e dimensionale) risulta decisamente superiore a quella del supporto ligneo, e questa caratteristica determina il conseguente mantenimento della variazione dimensionale dello strato di gesso e colla al passaggio finale a rigido.

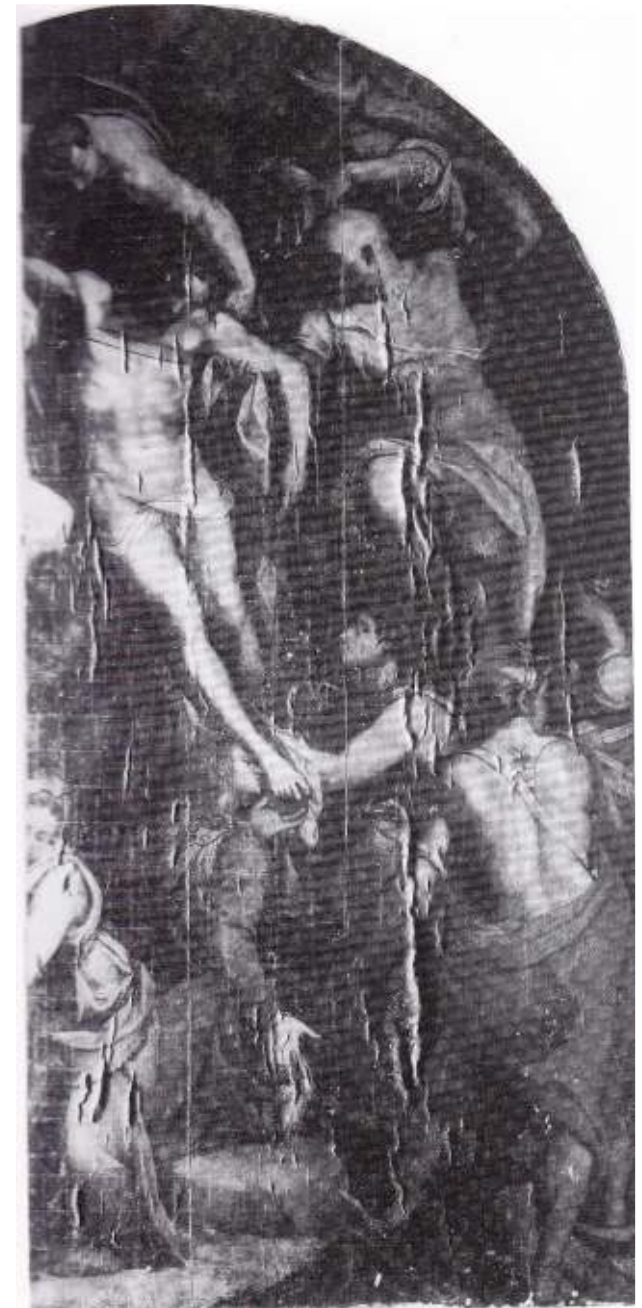
Al momento del **rientro della variazione dimensionale del supporto**, dunque, lo **strato di preparazione non è più in grado di recuperare le dimensioni iniziali**; inoltre, avendo il legno espansione più rilevante, al momento della perdita di volume sullo strato di preparazione si scaricano tensioni che non riescono ad essere assorbite perché tale strato ha recuperato già rigidità senza rientrare dimensionalmente. Al momento del restringimento, corrisponde la formazione del cretto a carico di tale strato (e degli strati pittorici a lui soprammessi) che segue andamento perpendicolare a quello delle fibre del legno, in quanto in direzione parallela alla venatura.



Mariotto di Cristofano,
Adorazione dei Magi Dipinto su tavola alluvionato

Buscaglia- Romero

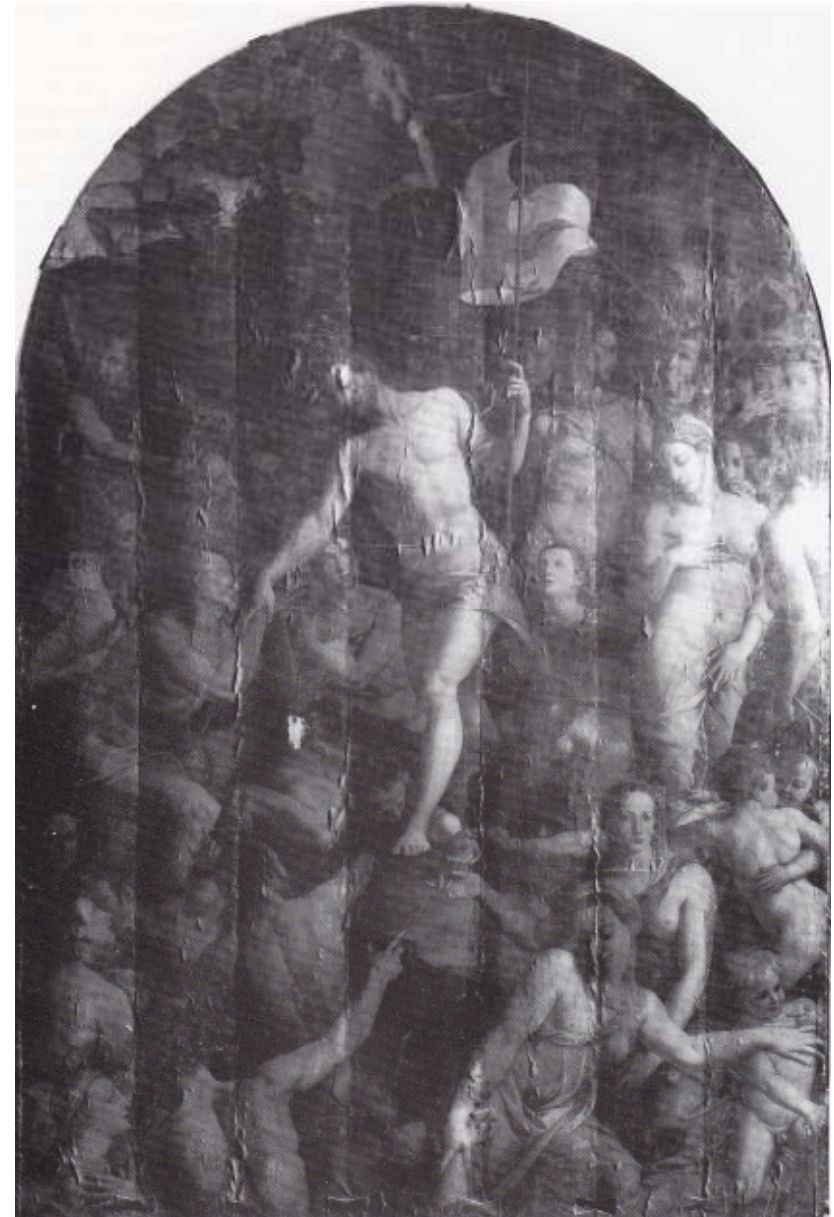
Restauro-ambiente



Alessandro Allori 55
Deposizione



Buscaglia- Romero
Ortolano



Restauro-ambiente
Bronzino

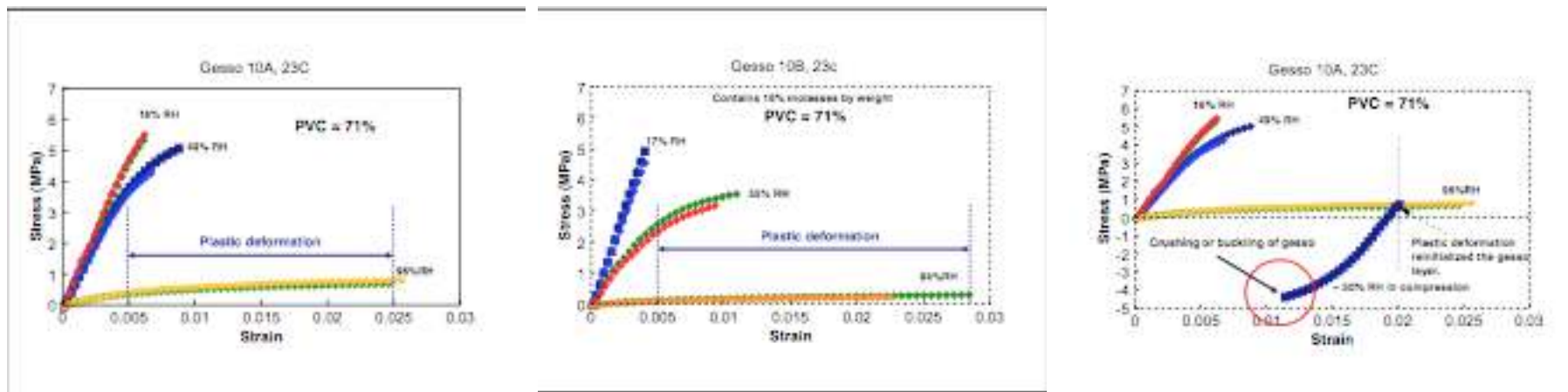
Dipinti su Tavola

E' possibile indicare, come **minimo intervallo di sicurezza** possibile per tutti i materiali coinvolti, **una UR compresa tra il 30% ed il 60%.**

Da valutare in sede di restituzione, a confronto con i restauratori, quanto sia verosimile intendere lo strato preparatorio, a 'normali' condizioni di umidità, come *costringente* il legno di supporto, ovvero con capacità di limitare (allo stesso modo delle strutture di contenimento) i movimenti del legno.

Questo potrebbe meglio spiegare anche la maggiore stabilità di supporti trattati, anche sul retro, con una o più stesure di gesso e colla, alle variazioni igrometriche dell'ambiente di conservazione.

Le sperimentazioni condotte da Macklenburg e Lopez in cinque anni su campioni *costretti*, ha individuato la soglia critica tra regione elastica e regione plastica dello strato di preparazione (che risulta piuttosto bassa 0,5 MPa), al di sotto della quale non si verifica crettatura, ma oltre la quale il materiale non è in gradi di sostenere le tensioni a cui è sottoposto, rompendo.



Dipinti su rame

Per ciò che riguarda i dipinti su supporto metallico, rame in particolare le **variazioni** del supporto al variare dell'**UR** praticamente **non esistano**; nel complesso si può dire che il sistema *dipinto su rame* è un sistema stabile, anche perchè il suo **coefficiente di espansione termica** è affine a quello delle pitture.

La natura chimica del rame è la vera responsabile sia del degrado riscontrabile nei casi reali (produzione di sali) sia della maggiore resistenza dei film pittorici stesi su di esso, in quanto in tempi brevissimi (circa 18 ore dalla stesura) si producono ioni Cu che tendono a migrare all'interfaccia con il trattamento pittorico, al quale si legano.

Trattamenti di conservazione

Quanto detto sui dipinti su tela e tavola rappresenta un punto di partenza per lo sviluppo della **ricerca applicata ai trattamenti di conservazione e restauro**.

Prima di procedere con il trattamento di tali argomenti, è necessario sottolineare un aspetto caratteristico dei supporti tessili: quanto affermato precedentemente circa la reale funzione di supporto dell'appretto piuttosto che della tela (confermato dallo studio dei comportamenti meccanici sia di ordito sia di trama a confronto con quello delle colle), va detto che la rigidità più o meno elevata del supporto tessile (senza appretto) dipende dalle caratteristiche di tessitura specifiche per ogni tipo di tela (si pensi alla maggiore rigidità delle tele sintetiche, non apprettate, rispetto a quelle in fibra naturale). Si rimanda al testo della pubblicazione per il dettaglio delle differenti caratteristiche meccaniche.

Trattamenti di conservazione

I test condotti hanno voluto verificare la capacità consolidante di ciascun materiale e parallelamente quantificare la loro capacità adesiva.

- La prima capacità è stata stabilita sulla base dell'efficacia nel riempimento delle porosità da parte dell'adesivo
- la seconda è stata testata con i *peel test*, ovvero facendo aderire due facce trattate con l'adesivo e valutando la sua resistenza alla sollecitazione con forze di separazione. (test condotto sia tela su tela sia carta su carta).

Si riportano a seguire i risultati ottenuti, iniziando da quelli relativi alle colle animali (che presentano buon potere consolidante e buon potere adesivo) per poi schematizzare i risultati ottenuti sugli altri materiali di intervento.

Si rimanda alla documentazione fornita dai docenti per il dettaglio dei grafici specifici per ciascun materiale.

Trattamenti di conservazione

Colla animale: nel complesso ha buona efficacia consolidante per materie con porosità piuttosto basse (nell'ordine di 5-8 micron di diametro), mentre sopra queste dimensioni la colla non riesce a saturare il poro, ma si distribuisce sulle pareti rinforzandole, ma lasciando spazi vuoti. Per il raggiungimento dell'efficacia desiderata saranno allora necessarie più applicazioni.

Acril 33: non sviluppa forza coesiva, ma solo adesiva; il materiale, che è caratterizzato da proprietà visco elastiche, infatti, risulta poco penetrante ma risponde molto bene alle sollecitazioni dei peel test, dimostrando di avere un punto di rottura decisamente elevato (8 Newton di stress).

Akeogard T33: usato spesso in concentrazioni intorno all'8%, come di prassi tra molti restauratori, questo materiale dimostra una discreta capacità adesiva (sebbene fortemente inferiore rispetto a quella dell'acril 33) ma capacità coesiva pressoché inesistente (non è in grado di saturare le porosità), caratteristica per la quale l'unica soluzione sembra essere quella della ripetizione delle applicazioni.

Trattamenti di conservazione

Akeogard T40: Questo tipo di akeogard sviluppa maggiore forza adesiva e dimostra discreta capacità consolidante (anche su pori di piccole dimensioni).

Aquazol 200: presenta un problema preoccupante in risposta alle variazioni di UR[, ovvero: già a UR relativamente basse (a partire dal 55%) il materiale dimostra una perdita di potere adesivo, mentre le variazioni di UR non sembrano influenzare la sua capacità coesiva, che anche a basse concentrazioni, per via della molecola base di piccole dimensioni, risulta buona per la saturazione di porosità di piccola o media entità.

Aquazol 500: sembra avere, pur presentando la stessa sensibilità alle variazioni di UR, maggior potere adesivo rispetto all'altro tipo, e dimostra buona capacità consolidante per porosità di dimensioni elevate.

Trattamenti di conservazione

Beva 371: risulta perfetto come adesivo per la foderatura, con buona resistenza al peel test tra tele, tuttavia non sembra un materiale pensato per il consolidamento, in quanto risulta capace di riempire i vuoti su porosità limitate, oltre le quali non dimostra efficacia nel trattamento.

Funori: Anche questo risulta un materiale decisamente sensibile alle variazioni di UR nell'ambiente, sebbene la soglia di umidità oltre la quale si registra inefficacia è del 70 % circa di UR. Tale materiale, derivato di un'alga marina, dimostra buon potere adesivo a condizioni ambientali 'normali', ma difficilmente riesce a colmare le cavità della porosità; volendo definire degli intervalli di efficacia, le soluzioni al 6% di questo adesivo dimostrano discreta capacità consolidante nel trattamento di porosità piuttosto elevate (tra i 10 e i 20 micron), mentre le soluzioni al 3% sembrano funzionare bene su pori di grandezza entro i 15 micron.

Trattamenti di conservazione

Gelvatol: è un adesivo di buona forza, sebbene già ad umidità intorno al 50% si registra un drastico abbassamento del potere adesivo, che risulta a queste condizioni moderato. Tuttavia, all'innalzarsi significativo dell'UR (intorno all'85%) dimostra migliore resistenza rispetto alle colle animali. Le proprietà consolidanti di questo materiale risultano molto simili a quelle della colla animale e, con diluizioni comprese tra il 5% ed il 10%, dimostra buona efficacia anche su pori di dimensioni maggiori (tra i 15 ed i 25 micron).

Klucel-g: la sua efficacia come adesivo risulta inversamente proporzionale all'innalzamento dell'UR, ovvero il materiale lavora bene ad UR basse, mediamente ad UR intorno il 50% e male al di sopra di tale soglia. Risulta interessante la capacità adesiva del materiale a concentrazioni intorno al 20% , che risulta affine a quella della colla in relazione all'adesione tra due tele. Per ciò che riguarda la capacità consolidante, questo dimostra solo parziale efficacia per dimensioni di pori piuttosto elevate, oltre che dimostrare difficoltà di penetrazione già a basse concentrazioni.

Trattamenti di conservazione

Acryloyd B-67: la diluizione parziale dell'adesivo in toluene, solvente che necessita diversi mesi per evaporare completamente dagli strati, implica un rammollimento eccessivo degli strati pittorici fino a che se ne trovano tracce, ma a completa evaporazione del solvente la situazione peggiora, in quanto il film pittorico risulta a questo punto ancora più fragile.

Acryloyd B-62 (Paraloid): Se si cambia solvente della diluizione, il materiale sembra rispondere meglio: gli effetti delle diluizioni in acetone o metanolo dimostrano una buona capacità adesiva ed una discreta capacità coesiva, che, se abbinata a ripetute applicazioni con aumento della concentrazione, si dimostra risolutiva, come nel caso del consolidamento dei supporti lignei.

Plextol b-500: adesivo che dimostra discreto potere consolidante, parzialmente efficace anche su porosità di media entità. Tale adesivo, tuttavia, dimostra migliori proprietà adesive.

Trattamenti di conservazione

L'ultimo argomento affrontato è quello della scelta del filler per il risarcimento di lacune di preparazione e pellicola pittorica.

COME ASSUNTO INIZIALE È BENE SOTTOLINEARE L'IMPORTANZA NELLA VALUTAZIONE DELLE TENSIONI COINVOLTE TRA I MATERIALI ORIGINALE E QUELLI DEL FILLER, IN MODO DA NON CREARE NUOVE TENSIONI A CARICO DEGLI STRATI CROMATICI ORIGINALI, SCEGLIENDO IL MATERIALE



Trattamenti di conservazione



Idoneità strutturale di stucchi per la riproduzione di lacune in dipinti / structural suitability of filling materials for paintings

- stucchi tradizionali: versatilità / traditional: great versatility
- Adesivi: efficacia questionable / adhesives: questionable effectiveness
- stucchi sintetici: limitazioni tecniche e strutturali / synthetic: technical and structural limitations
- stucchi commerciali: inefficienti ed instabili. Non adeguati / commercial: flawed, not stable and not appropriate

• I materiali culturali **rispondono dimensionalmente** ai cambi in UR
Cultural materials respond dimensionally to changes in relative humidity (RH).

• La conseguenza diretta è che sviluppano **elevate tensioni (stress)** quando sono costretti
As a consequence they are able to develop stresses and forces when restrained.

• Il **livello di stress** sviluppato in questi strati del dipinto è quello che fa che ci chiediamo per esempio **quali devono essere i requisiti dei materiali che usiamo nei trattamenti di conservazione**
It is the level of stresses developed in the layers of the painting that provoke thought into the requirements of materials to use in conservation treatments.

Nel complesso lo stucco a gesso-colla si dimostra decisamente soddisfacente rispetto a quelli legati con adesivi sintetici, o ai prodotti commerciali.

A differenza del gesso-colla, infatti, tutti i tentativi realizzati con adesivi differenti hanno presentato maggiori variazioni dimensionali al variare dell'UR, nonché maggiore fragilità, che comporta una scarsa resistenza agli stress ed una tendenza alla rottura decisamente più elevata rispetto al tradizionale gesso-colla.