

*Mario Verdelli - Nadia Presenti - Marco Goretti*

# TECNICHE AVANZATE DI SOTTOVUOTO NEL RESTAURO DEI DIPINTI

~ **PARTE III** ~

Ricerche - Sperimentazioni - Applicazioni

a cura di

Mario Verdelli

© 2017

Il seguente testo per il web, tratto dall'omonimo volume pubblicato da Edifir nel 2007 e 2000, è stato completamente riveduto e corretto, ed è dedicato a Michelangelo Verdelli

GLI AUTORI

MARIO VERDELLI - Specializzato nelle nuove tecnologie della conservazione dei dipinti, in particolare nelle tecniche del sottovuoto, svolge attività di ricerca e di consulenza per enti pubblici e privati, inoltre si presta all'attività didattica con conferenze e seminari.

NADIA PRESENTI - Dal 1988 al 1991 frequenta il corso regionale di formazione professionale della Regione Toscana per la conservazione dei Beni Culturali. Negli ultimi due anni del corso, si specializza nella conservazione e nel restauro dei dipinti su tela e su tavola sotto la direzione del Dr. Marco Ciatti e degli insegnanti dell'OPD.

Dal 1991 lavora come professionista per musei, enti ecclesiastici e collezionisti privati. Collabora con incarichi diretti con la Soprintendenza di Siena, Arezzo, Pisa, Modena.

MARCO GORETTI - Laureato in Ingegneria Nucleare presso l'Università di Pisa, ottiene numerosi incarichi dal Centro di Ricerca delle Comunità Europee di Ispra e dall'ENEA; effettua studi sulla sicurezza, affidabilità e compatibilità ambientale di componenti e impianti. Come consulente industriale, si occupa di problematiche inerenti i controlli di qualità dei processi produttivi e le tecniche di controllo statistico.

# INDICE

## (Parte III)

### 3. LA RICERCA DI NUOVE METODOLOGIE

- 3. 1 - Aspetti generali
- 4. 2 – Preparazione dei campioni
- 6. 3 - Cedimenti localizzati (microstress)
  - 7. *Prova 1. Cedimenti della preparazione*
  - 7. *Prova 2. Stress di umidità e pressione*
  - 9. *Prova 3. Simulazione di consolidamento con Plexisol*
  - 10. *Prova 4. Simulazione di consolidamento con colletta*
  - 11. *Prova 5. Comportamento elastico di un piano di gomma*
  - 12. *Prova 6. Cedimenti*
- 15. 4 - Penetrabilità e diffusione della colletta a caldo
  - 16. *Prova 7. Diffusione in sottovuoto*
  - 18. *Prova 8. Diffusione con impregnazione in sottovuoto*
  - 18. *Prova 9. Diffusione a pressione atmosferica*
  - 19. *Prova 10. Diffusione localizzata in sottovuoto e pressione atmosferica  
(iniezioni di 0,25ml)*
  - 23. *Prova 11. Diffusione localizzata in sottovuoto e a pressione  
atmosferica (iniezioni di 1 ml)*
  - 25. *Prova 12. Massima diffusione localizzata in sottovuoto e a pressione  
atmosferica*
- 27. 5 - Ulteriori studi di penetrabilità con colletta
- 28. 6 - Penetrabilità con resina sintetica Plexisol P550
  - 29. *Prova 13. Diffusione localizzata in sottovuoto e a pressione  
atmosferica*
  - 30. *Prova 14. Diffusione localizzata in sottovuoto (raffronto Plexisol e  
colletta)*
- 31. 7 - Impermeabilizzazione con resina sintetica Plexisol

## ~ PARTE III ~

### LA RICERCA DI NUOVE METODOLOGIE

*Mario Verdelli, Nadia Presenti, Marco Goretti*

#### *1. Aspetti generali*

Per l'approfondimento e per la ricerca di nuove metodologie di consolidamento degli strati preparatori dei dipinti su tavola in sottovuoto<sup>1</sup>, abbiamo operato confrontando i sistemi tradizionali, esaminando il comportamento di collanti naturali e sintetici<sup>2</sup>, e sottoponendo vari materiali a stress di pressione e umidità.

L'impossibilità di condurre la sperimentazione direttamente sulle opere d'arte, ha determinato la necessità di preparare appositi modelli di dipinti. Con tali modelli sono stati realizzati numerosi programmi di prove, sempre ripetibili e comparabili tra loro, ottenendo un gran numero di dati e risultati in buona parte sintetizzati in questo volume.

I concetti che hanno accompagnato la sperimentazione, e spesso si sono intrecciati nell'ideazione e costruzione dei modelli, sono stati quelli della "simulazione" nel ricostruire le rotture e le mancanze della superficie pittorica in modo selettivo e semplificato e del "peggior caso possibile" nel ricostruire situazioni di degrado.

Nei dipinti su tavola il risanamento degli strati preparatori compromessi deve avvenire introducendo un consolidante attraverso gli strati pittorici e questi strati sono per lo più non igroscopici; quindi la penetrazione deve verificarsi attraverso le cretture, dopodiché non sappiamo come il liquido si distribuisce sotto il colore e possiamo fare solo delle deduzioni da osservazioni indirette. In effetti, anche in testi recenti si afferma che «La meccanica di tali processi è frutto soprattutto di supposizioni teoriche, in quanto eventuali verifiche sperimentali si dimostrano per lo più di difficile realizzazione»<sup>3</sup>.

Conseguentemente uno dei principali obiettivi della sperimentazione è stata la comprensione di alcuni meccanismi di diffusione dei liquidi all'interno di varie tipologie di materiali sottoposti a pressione.

---

1 - Le tecniche sono state descritte nella parte IV. *Applicazioni pratiche*.

2 - Per consolidante naturale è stata scelta la colletta (colla lapin in soluzione acquosa addizionata con plastificante e antifermentativo). Ancora oggi è il collante più usato per la fermature o il consolidamento del colore nei dipinti. Per consolidante sintetico è stato scelto il Plexisol P550 (resina acrilica, omopolimero di *n* - Butilmetacrilato, Rhom & Haas). Si trova in commercio come resina secca formulata al 40% in benzina rettificata. È termoplastico, trasparente, flessibile e resistente, è principalmente usato come impermeabilizzante e consolidante nei dipinti su tela, raramente come consolidante nelle tavole.

3 - MAURO MATTEINI - ARCANGELO MOLES, *Indagini chimiche e stratigrafiche di supporto al consolidamento degli strati pittorici*, in *L'Incoronazione della Vergine del Botticelli*, Edifir, Firenze, 1990, pp. 79-80.

Per studiare la meccanica di espansione di un adesivo ma anche di un consolidante, specialmente tra l'interfaccia della preparazione e le grandi placche di colore, e per provare a superare le difficoltà oggettive di una verifica sperimentale, abbiamo pensato di utilizzare una pellicola plastica (non è igroscopica come alcune placche di colore), adesiva<sup>4</sup> (come la pellicola pittorica), trasparente (permette di osservare i movimenti del collante) e modellabile (si possono costruire placche di qualsiasi dimensione da applicare sulla superficie della preparazione).

Con questa configurazione si sono studiate le tecniche e misurati i fenomeni di diffusione dei consolidanti.

È poi importante evidenziare che i processi fisici, che si sono studiati in relazione ai modelli, sono applicabili anche per i dipinti. La differenza principale consiste che nei modelli si è realizzato in modo semplificato ogni degrado, studiando la risoluzione dei problemi uno per volta, mentre la realtà di un dipinto è più complessa e i vari problemi di degrado spesso sono presenti contemporaneamente, a loro volta indotti da numerosi fattori, alcuni di non facile risoluzione.

Per questi motivi i dati della sperimentazione, sempre riferibili ai soli modelli, per essere utilizzati sono stati elaborati e valutati nel loro insieme; poi, attraverso un confronto tra dati sperimentali ed esperienza pratica, è stato possibile formulare ipotesi di lavoro per l'effettiva attività di restauro.

## *2. Preparazione dei campioni*

Sono state ricavate da una tavola in legno di pioppo stagionato numerose tavolette tutte di spessore 3 cm e di taglio tangenziale, mentre le misure, secondo le prove, variavano tra 20 cm x 20 cm, 20 cm x 40 cm e 40 cm x 40 cm.

Non si è voluto utilizzare del legno d'epoca, ricavabile da vecchi telai o parti di mobili demoliti, perché questi materiali non sono sufficientemente omogenei e sono inadatti per una ricerca sistematica e perfettamente ripetibile<sup>5</sup>.

Livellata la superficie della tavoletta, è stata applicata una stesura di colla forte e numerose stesure successive di gesso e colla, fino a ottenere uno spessore omogeneo di 2,0 mm, eccetto i campioni sottoposti alle prove di pressioni che hanno lo spessore della preparazione leggermente inferiore (1,7 mm).

La preparazione è stata stesa con un pennello morbido, la superficie non è stata levigata, anzi, sono state lasciate le tracce delle pennellate, che sono risultate regolari e parallele proprio per imitare la superficie di una campitura di colore di un dipinto.

La preparazione, che non è mai stata occultata da una pellicola pittorica tradizionale (olio, tempera, ecc.), è stata mantenuta sempre ben visibile per seguire il passaggio dei consolidanti opportunamente concentrati e colorati; in altri casi è stata sfruttata la sua "nudità" per poter simulare il "peggior caso possibile", cioè

---

4 - L'adesivo della pellicola plastica è del tipo "a contatto" (Polimero additivato con componenti che lo rendono permanentemente appiccicoso).

5 - Per le stesse motivazioni i campioni sono stati dotati di una preparazione omogenea, cioè coesa in ogni parte.

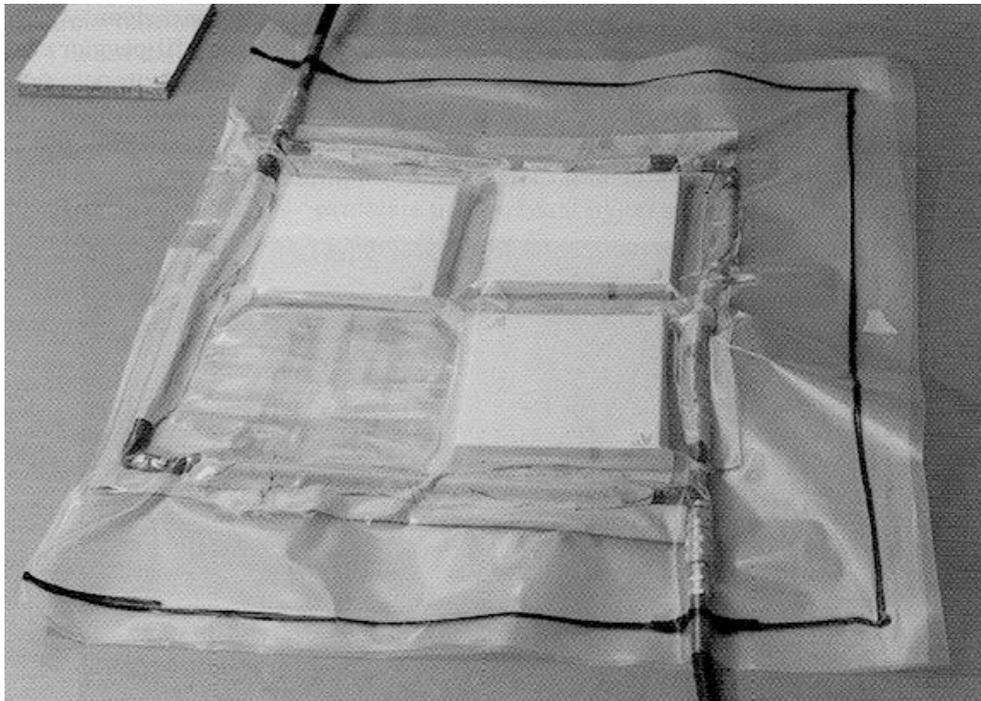
priva di protezione da parte della pellicola pittorica è stata sottoposta a numerosi stress di pressione e di umidità.

*Preparazione della busta.* I campioni di prova sono stati inseriti all'interno della busta per il sottovuoto (figura 26) così composta:

- un foglio di nylon (spessore 0,2 mm) di 100 cm x100 cm;
- un tessuto di lino composto da otto strati di 80 cm x 70 cm (ha la funzione di tenere separate le due facce del nylon, evitandone l'attrito e di proteggerle da lacerazioni durante il vuoto);
- quattro moduli di aspirazione della lunghezza di 40 cm montati a figura di quadrato (appoggiati al tessuto di lino, i moduli sono stati collegati a due tubi di aspirazione contrapposti e simmetrici);
- una o più tavolette di campione, appoggiate sul tessuto di lino al centro del quadrato formato dai moduli di aspirazione. Con la faccia di ogni campione preparata con gesso e colla sempre rivolta verso l'operatore;
- un foglio di nylon o di melinex (secondo le tecniche) di 100 cm x 100 cm.

La busta è stata sigillata con plastilina.

La configurazione appena descritta è quella tipica di tutta una serie di prove in sottovuoto illustrate in questo capitolo.



*Fig. 26. Campioni di tavolette preparati a gesso e colla, inseriti all'interno di un'area delimitata da quattro "moduli" collegati a due tubi di aspirazione contrapposti e simmetrici*

Prima di ogni prova è stata eseguita una verifica di controllo della pressione che è sempre risultata omogeneamente distribuita nella busta.

Tutti i campioni sono stati fotografati in luce diffusa e in luce radente prima e dopo ogni prova.

### 3. Cedimenti localizzati (*microstress*)

In questo studio si è inteso verificare il cedimento localizzato (*microstress*) della preparazione di campioni preparati e sottoposti a vari stress di pressione e umidità. Lo scopo è stato quello di ricavare informazioni utili per operare con il sottovuoto il consolidamento nei dipinti con supporti lignei degradati dagli insetti xilofagi, in particolare, come quelli che presentano mancanze a contatto della preparazione (figura 9, Parte I, *Introduzione al sottovuoto*).

*Preparazione dei campioni per le prove di pressione.* Nell'ambito di questa serie di prove, sono state preparate tavolette di misure 20 cm x 20 cm x 3 cm e con spessore della preparazione di 1,7 mm.

I campioni sono stati allestiti nello stesso modo, per poterli studiare e confrontare, dopo averli sottoposti a differenti test.

Per simulare le mancanze del supporto sotto la preparazione (come per esempio quelle che possono provocare gli insetti xilofagi), sul verso della tavoletta sono state praticate con una fresa due scanalature contrapposte e simmetriche di lunghezza 8 cm e larghezza 1 cm (figura 27); poi utilizzando il bisturi, è stato asportato completamente un sottilissimo strato di legno che era rimasto sotto la preparazione.

Le dimensioni delle mancanze sono state studiate per simulare il peggior caso possibile, tenendo conto che mancanze smoderatamente grandi e preparazioni troppo sottili avrebbero fornito dei risultati distanti da quelli che ragionevolmente ci si potrebbe aspettare da un supporto sì antico e degradato ma compatibile con la tecnica del sottovuoto.

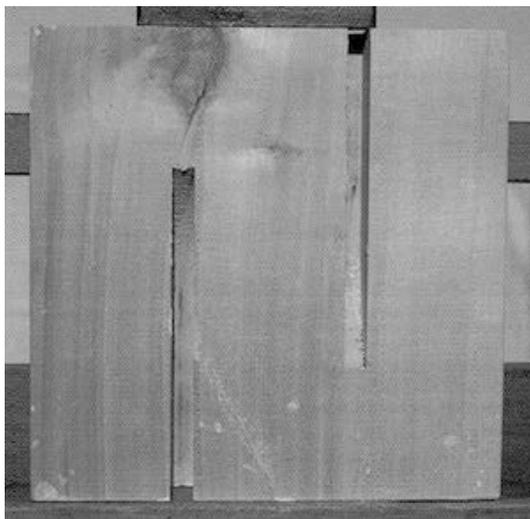


Fig. 27. Il verso della tavoletta mostra due scanalature contrapposte e simmetriche

## PROVA 1. CEDIMENTI DELLA PREPARAZIONE

Scopo di questa prova è stato quello di verificare i cedimenti della preparazione in prossimità delle due mancanze artificiali.

*Configurazione.* Il campione, denominato AB<sup>6</sup>, è stato sottoposto in sottovuoto a pressioni progressive fino a raggiungere i -60 kPa (circa il 60% di vuoto)<sup>7</sup>.

*Risultati.* Non sono stati riscontrati cedimenti.

## PROVA 2. STRESS DI UMIDITÀ E PRESSIONE

Prima di passare a simulazioni di vere e proprie tecniche di consolidamento, abbiamo voluto studiare e misurare (anche per effettuare comparazioni) i cedimenti e i danni della preparazione, sottoponendo il campione impregnato con colletta a caldo a forti stress di pressione e umidità per un tempo di 30 minuti.

*Configurazione.* La preparazione del campione denominato AB (figura 28), senza alcuna protezione, è stata inumidita in sottovuoto a diverse pressioni, con iniezioni di 20 ml di colletta a 65 °C<sup>8</sup> praticate attraverso il nylon superiore della busta direttamente sulla superficie a gesso e colla.

---

6 - A ogni campione è stata assegnata una coppia di lettere che indicano le due rispettive mancanze artificiali.

7 - Per i nostri esperimenti si è considerata come limite massimo la pressione di -60 kPa (circa il 60% di vuoto), in quanto nella nostra pratica di restauro si utilizzano pressioni molto inferiori, normalmente sono tra -8 kPa e -13 kPa; eccezionalmente, con l'utilizzo di resine concentrate in solvente, si sono raggiunte pressioni di -20 kPa che rappresentano comunque la soglia che non intendiamo superare.

8 - La concentrazione è stata calcolata in 100 g di colla lapin in 1,9 litri di acqua con aggiunta di plastificante e antifermentativo q.b. Questa concentrazione è stata mantenuta per tutta la sperimentazione ed è utilizzata, secondo i casi, anche per le attività pratiche di fermatura e consolidamento nei dipinti. La temperatura del sol (soluzione colloidale calda) è stata misurata nel contenitore, naturalmente nel trasferimento, utilizzando varie tecniche come il pennello, la siringa, ecc., nel momento in cui il sol viene a contatto con la superficie interessata c'è una riduzione della temperatura di alcuni gradi.

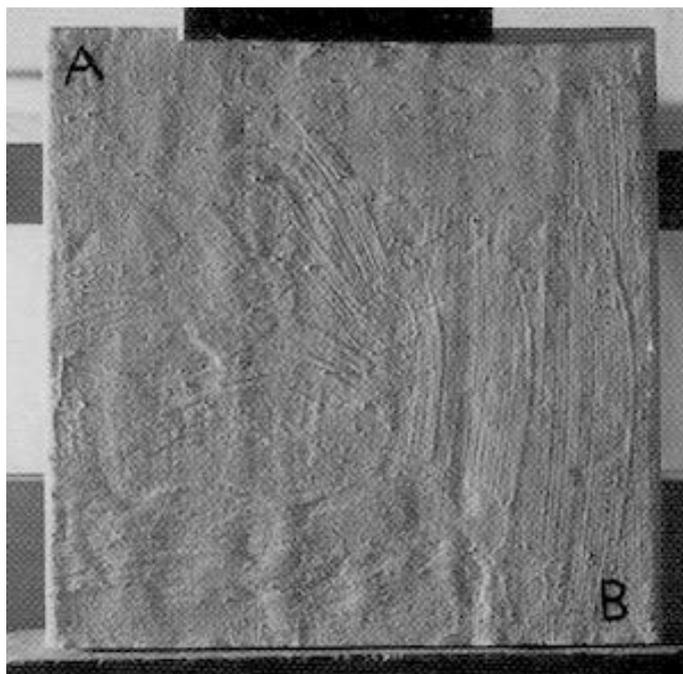


Fig. 28. Fotografia in luce radente del campione AB, prima di essere sottoposto in sottovuoto alla prova 2

*Risultati.* I risultati sono sintetizzati nella tabella 7.

Sono stati riscontrati vistosi cedimenti e notevoli danni alla preparazione con esfoliazioni degli strati preparatori in prossimità della superficie inumidita (figura 29)

Questa prova è stata ripetuta su altri campioni, sempre con lo stesso risultato.

Campione AB Sottovuoto impostato [kPa]	Esposizione in sottovuoto [minuti]	Intensità dei cedimenti della preparazione sulle mancanze
-5	5	+
-10	5	++
-20	5	+++
-30	5	+++
-50	5	++++
-60	5	++++

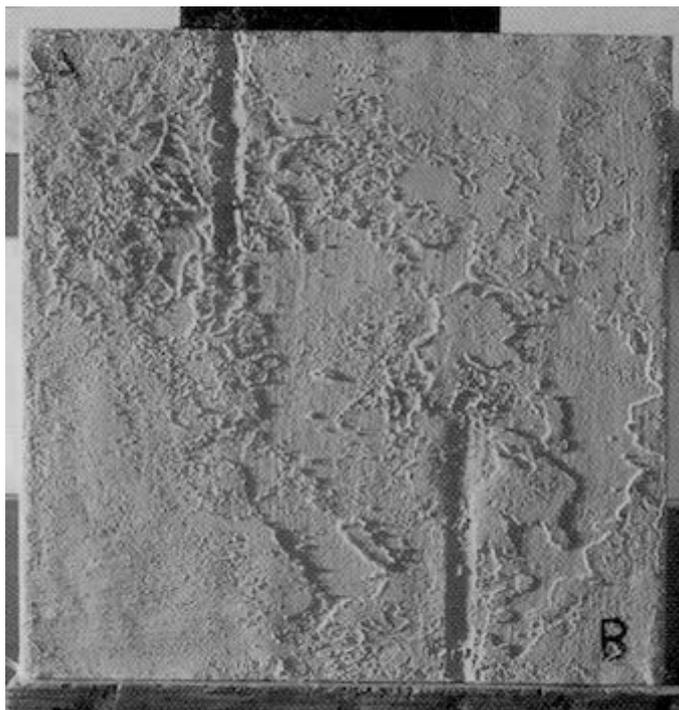
Tabella 7. Misure dei cedimenti in relazione al tempo di esposizione e ai diversi valori di vuoto

+ = Leggerissimi sprofondamenti (solo visibili in luce radente)

++ = Leggeri sprofondamenti (più visibili in luce radente)

+++ = Sprofondamenti (visibili in luce diffusa)

++++ = Forti sprofondamenti o totale collassamento



*Figura 29. Fotografia in luce radente del campione AB, risultato della prova 2 in sottovuoto. Sono evidenti il collassamento della preparazione in entrambe le mancanze artificiali e il danneggiamento della preparazione*

### PROVA 3. SIMULAZIONE DI CONSOLIDAMENTO CON PLEXISOL

Si è voluto osservare se la resina sintetica Plexisol P550<sup>9</sup>, alle differenti concentrazioni, modificava lo stato fisico della preparazione dei campioni sottoposti a pressioni progressive sempre più alte.

*Configurazione.* È stato simulato un consolidamento in sottovuoto iniettando nel campione denominato BC la resina sintetica in concentrazione di una parte di formulato in quattro di white spirits; mentre nel campione denominato CD la concentrazione del Plexisol è risultata di 1/12 in white spirits, in quanto ci interessava studiare anche l'effetto del solvente sulla preparazione.

Il Plexisol è stato iniettato, attraverso la parte superiore della busta (che è stata sostituita con un foglio di melinex), sopra un doppio strato di carta giapponese alla pressione di -20 kPa.

I campioni sono stati sottoposti a pressioni progressive fino a raggiungere i -60 kPa e questa pressione è stata mantenuta per un tempo di 30 minuti.

---

<sup>9</sup> - Una breve motivazione per l'utilizzo di questa resina è espressa alla Parte III. 6 *Penetrabilità con resina sintetica.*

*Risultati.* Non sono stati riscontrati cedimenti delle mancanze in entrambi i campioni. I risultati, identici a quelli della prova 1, non hanno rilevato modificazioni del supporto o della superficie della preparazione.

*Commento.* È vero che i risultati di questa prova potevano essere facilmente previsti, in quanto il solvente della resina sintetica non ammorbidisce la componente proteica della preparazione.

I test sono stati realizzati per verificare comunque il comportamento del consolidante acrilico, per poi comparare i risultati con quelle prove realizzate con il consolidante naturale.

#### PROVA 4. SIMULAZIONE DI CONSOLIDAMENTO CON COLLETTA

Nei campioni denominati CD e DE, si è voluto osservare quando e come si sarebbero verificati i cedimenti in una simulazione di consolidamento per impregnazione con colletta.

Si sono voluti anche confrontare i tempi di perdita di umidità del campione CD, lasciato asciugare dopo il trattamento in condizioni ambientali, con quelli del campione DE lasciato asciugare dentro la busta in sottovuoto.

*Configurazione.* Sopra la superficie sono stati collocati due strati di carta giapponese, è stato effettuato il sottovuoto alla pressione di -10 kPa e sono stati iniettati, per ciascun campione, 20 ml di colletta colorata con blu di metilene a 65 °C.

I campioni sono stati lasciati con la carta giapponese inumidita in sottovuoto per un'ora e trenta minuti, in modo da simulare abbondantemente il tempo che occorre per eseguire le iniezioni d'impregnazione su un dipinto di grandi dimensioni.

*Risultati.* Sintetizzati nella tabella 8

Campioni CD e DE Tempo cumulativo di esposizione in sottovuoto alla pressione di [-10 kPa]	Intensità dei cedimenti della preparazione sulle mancanze
Dopo 10'	Nessun cedimento
Dopo 20'	+
Dopo 30'	++
Dopo 1h,30'	+++

*Tabella 8. Misure dei cedimenti in relazione al tempo di permanenza in sottovuoto*

+ = leggeri sprofondamenti

++ = sprofondamenti

+++ = rottura della preparazione

La carta giapponese si è separata all'apertura della busta. Uno strato è rimasto aderente alla preparazione, l'altro al foglio di nylon; così, al contrario della prova 2, non sono stati rilevati danni importanti alla superficie a gesso e colla dei campioni, eccetto naturalmente il collassamento sulle mancanze.

La carta giapponese ha protetto efficacemente la preparazione del campione; questa è altrettanto importante nel consolidamento con colletta a caldo in sottovuoto nei dipinti su tavola, perché mantiene la rintracciabilità del punto dove viene effettuata l'iniezione, facilita l'apertura della busta, assorbe l'umidità, protegge efficacemente il colore e la preparazione dall'umidità del trattamento alle pressioni moderate.

Nel campione CD, lasciato fuori della busta, la preparazione ha perso sufficiente umidità consolidandosi dopo due ore; la colletta colorata di blu ha evidenziato la penetrazione in profondità per circa metà spessore (circa 1 mm).

Nel campione DE, trascorse quattro ore in sottovuoto, la superficie della preparazione era ancora leggermente umida, anche in questo caso la colletta colorata è penetrata per circa metà spessore (della preparazione).

Trascorse sedici ore dentro la busta, la preparazione del campione DE non era ancora del tutto *riconsolidata*.

In entrambi i campioni, la parte della preparazione interessata dalla colletta colorata, dopo la perdita di umidità, è risultata più solida rispetto alla preparazione di altri campioni non trattati, ma anche rispetto a quella parte della preparazione in prossimità del supporto non raggiunta dalla colletta.

Il consolidamento è risultato molto efficace, omogeneo e sufficientemente in profondità, specialmente se si considera che la preparazione dei campioni era perfettamente coesa anche prima del trattamento, e che la preparazione dei dipinti su tavola (mediamente) è spessa circa 1 mm.

Nel campione CD, che nella prova 3 era stato trattato in sottovuoto con il Plexisol P550 in concentrazione 1/12 in white spirits, la colletta a caldo è penetrata e ha consolidato la preparazione in misura uguale al campione DE non trattato, dimostrando l'efficacia del consolidante naturale in presenza della resina sintetica prescelta a bassa concentrazione.

## PROVA 5. COMPORTAMENTO ELASTICO DI UN PIANO DI GOMMA

Con questa prova si è voluto verificare il comportamento elastico di un piano di gomma dello spessore di 5 mm, collocato sulle mancanze del campione denominato EF, al quale è stata tolta anche la preparazione per una migliore verifica.

Il piano, particolarmente indicato per la sua modellabilità alle irregolarità del supporto, introdotto dopo la fermata del colore a contatto della superficie pittorica, riduce il rischio di sprofondamenti della preparazione.

*Risultati.* Sulle mancanze non sono state riscontrate modificazioni del piano di gomma sottoposto in sottovuoto alla pressione di -60 kPa.

Questo materiale si è dimostrato particolarmente resistente alle sollecitazioni meccaniche esercitate dalle pressioni del sottovuoto.

*Commento.* È chiaro che, appoggiando un piano sopra la superficie di un dipinto inserito dentro una busta in sottovuoto, la pressione atmosferica premerà il piano contro la superficie, ma sulla mancanza del supporto, anche se ricoperta dalla preparazione, non si eserciterà alcuna pressione (figura 30).

La pressione atmosferica, premendo sul piano e non riuscendo a deformato (se questo è sufficientemente spesso), non trasferisce la sollecitazione meccanica alla sottostante preparazione (ma solo quella sulla mancanza) e non ci sono rischi che questa possa collassare. Com'è evidente nella figura 30, il sottovuoto dentro la busta interessa tutti gli elementi che vi sono inseriti e quindi avviene anche tra la superficie della preparazione e il piano di gomma.

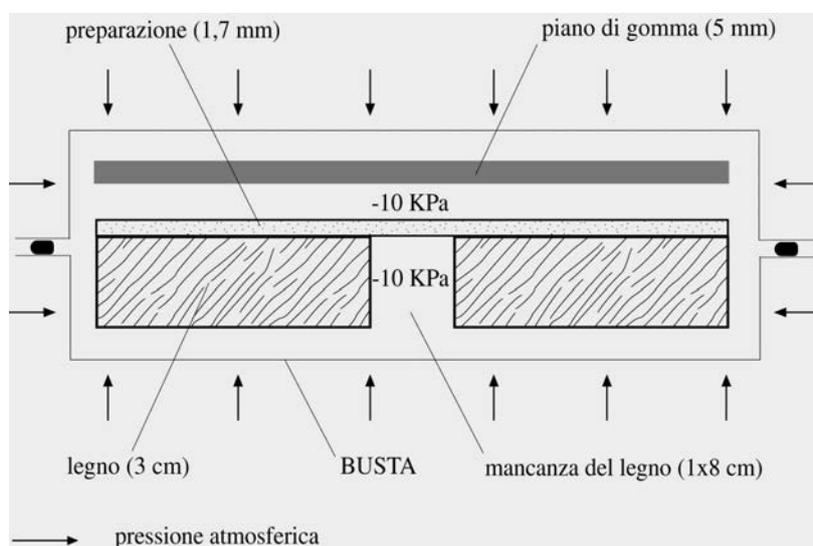


Figura 30. Sezione della busta, di un piano di gomma e di una tavoletta di campione

## PROVA 6 . CEDIMENTI

Di seguito alle considerazioni teoriche introdotte nella prova 5, si è voluto riscontrare l'effettiva efficacia della protezione del piano di gomma sulle mancanze a fronte di un'impregnazione con colletta a caldo.

*Configurazione.* È stato simulato un consolidamento in sottovuoto con colletta a caldo sul campione denominato FG (con un sottile strato di preparazione sulle mancanze). Le operazioni sono state condotte con le stesse pressioni, quantità e temperatura del consolidante, della prova 4.

La fase d'impregnazione ha richiesto cinque minuti. Aperta la busta, è stato collocato il piano di gomma sopra l'intera superficie del campione ed è stato effettuato il sottovuoto per un'ora e trenta minuti alla pressione di -10 kPa;

successivamente la pressione è stata aumentata fino a -60 kPa ed è stata mantenuta per cinque minuti.

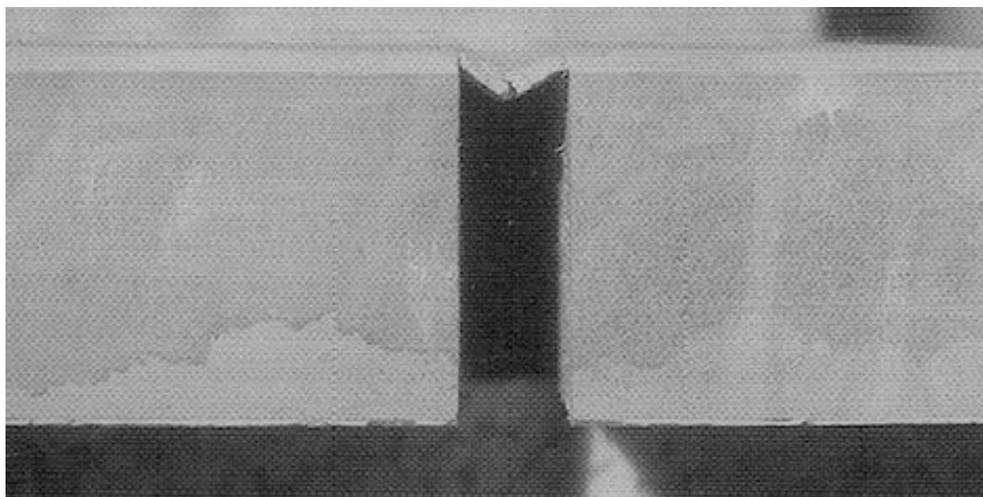
*Risultati.* L'analisi del campione dopo il trattamento, come previsto, non ha evidenziato danneggiamenti e modificazioni della superficie, nonostante la preparazione inumidita dalla colletta fosse molto cedevole sopra le mancanze e nonostante la lunga esposizione in sottovuoto e le alte pressioni esercitate.

È stata realizzata la controprova togliendo il piano di gomma e sottoponendo il campione (con la superficie a contatto del nylon della busta) a pressioni progressive fino a -60 kPa.

Il sottile strato di preparazione sopra le mancanze all'aumentare della pressione si è modificato plasticamente fino alla rottura (figura 31).

*Commento.* Questa serie di prove è stata introdotta anche per osservare e dimostrare che una copertura di un dipinto in sottovuoto più è sottile e più la pressione sottopone alle sollecitazioni la preparazione e il colore sulle mancanze.

Tradotto nella pratica di restauro, un dipinto su tavola, inserito in una busta costruita con un foglio di melinex, avrà più probabilità d'incorrere in cedimenti degli strati pittorici (se ovviamente ve ne fossero le premesse) dello stesso, inserito in una busta costruita con un foglio di nylon di spessore maggiore e più resistente del melinex alle sollecitazioni meccaniche.



*Figura 31. Modificazione plastica e collassamento della preparazione sopra una mancanza artificiale di un campione di tavoletta, sottoposto in sottovuoto a forti stress di pressione e umidità*

*Considerazioni di carattere generale.* Eravamo convinti che nella tecnica del consolidamento con colletta a caldo in sottovuoto, il momento più pericoloso, per eventuali cedimenti localizzati della superficie pittorica (microstress), coincidesse nell'istante delle iniezioni. Non tenevamo conto che la diffusione dell'umidità all'interno degli strati preparatori richiede un certo tempo, come evidenziato dai risultati delle prove fin qui condotte.

Nel caso specifico della prova 4, dove si effettua una simulazione di un consolidamento in sottovuoto per impregnazione, trascorre sempre un certo periodo di tempo prima che l'umidità della colletta inizi ad ammorbidire l'intero spessore della preparazione, di conseguenza i cedimenti sulle mancanze del supporto saranno proporzionali al grado di umidità presente in questi strati, anche a basse pressioni; in sostanza sarà con il passare del tempo che saranno riscontrati i cedimenti (tabella 8).

Questi risultati, insieme con gli altri che sono forniti nel corso della ricerca, possono essere utilizzati anche nel valutare i tempi dell'intera operazione d'impregnazione in sottovuoto dei dipinti; si deve però tenere presente che trasferire questi dati nell'attività pratica di restauro non è automatico, ma occorre, per la quantità dei parametri da considerare, una notevole elaborazione.

Bisogna considerare che il tempo di assorbimento del consolidante da parte degli strati preparatori dei dipinti è variabile e dipende da molti fattori: la quantità del liquido, i materiali assorbenti interposti (esempio carta giapponese), lo spessore della preparazione, il suo grado di porosità, la presenza di sostanze oleose che la impermeabilizzano, lo stato conservativo e i precedenti interventi (introduzione di resine o cere).

Un dato interessante, confermato dalla prova specifica 3, sono le applicazioni in sicurezza delle resine sintetiche anche alle alte pressioni di sottovuoto, mentre le stesse pressioni sono sconsigliabili (prova 2) con l'utilizzo della colletta a caldo. L'umidità, il calore, le forti pressioni possono creare problemi anche molto importanti agli strati preparatori, individuando il momento critico proprio subito dopo la fase d'impregnazione in sottovuoto. Tuttavia non dimentichiamoci che la colletta, oltre ad essere compatibile con i materiali costituenti un dipinto antico, è un consolidante molto efficace proprio per i problemi di decoesione degli strati preparatori e allo stesso tempo è un buon adesivo per i distacchi degli strati pittorici<sup>10</sup>. Le difficoltà che possono insorgere nelle applicazioni di restauro sono naturalmente relative al solo periodo in cui il collante rimane allo stato liquido. Inoltre, l'apporto di umidità della soluzione acquosa in cui è disciolto il consolidante naturale ammorbidisce temporaneamente la componente proteica degli strati preparatori, rendendo la preparazione più elastica, così da permettere con la pressione l'unione e l'adesione di distacchi preparazione-preparazione e preparazione-supporto (figura 32).

Al contrario, un consolidante sintetico come il Plexisol P550 non può modificare lo stato fisico degli strati preparatori a gesso e colla (vedi prova 3). È nostra convinzione che per questo motivo e per la scarsa capacità adesiva, il Plexisol non sia in grado di saldare altrettanto bene le fratture più grandi all'interno della preparazione e i distacchi tra questa e la superficie del supporto. Riteniamo che l'utilizzo ideale di questo prodotto sia principalmente adatto nell'ambito del consolidamento dei piccoli distacchi del colore, delle piccole fratture della preparazione, ma soprattutto dell'impermeabilizzazione degli strati pittorici.

---

10 - Per un maggiore approfondimento dei consolidanti e degli adesivi, consigliamo la lettura di M. MATTEINI e A. MOLES, *La chimica nel restauro*, Nardini Editore, Firenze, 1989, pp. 136-248.

A tale proposito è interessante uno studio di penetrabilità con la resina sintetica e d'impermeabilizzazione degli strati preparatori alla fine di questo capitolo.

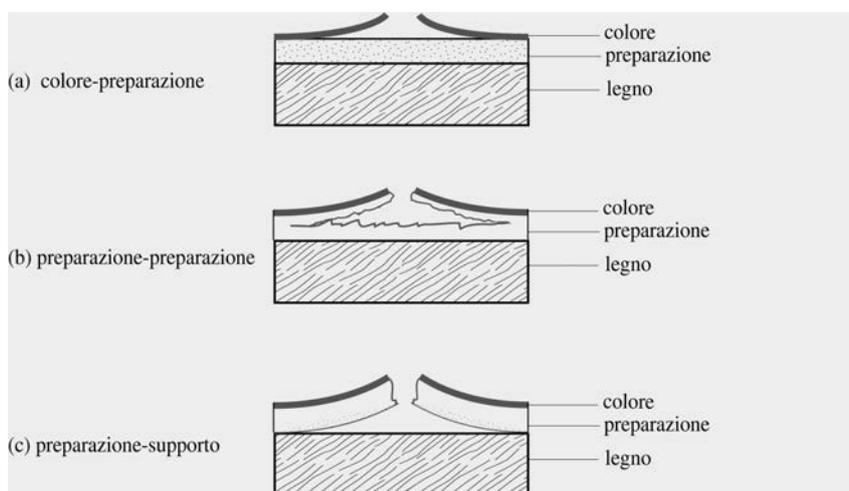


Figura 32. Tipologie dei distacchi

#### 4. Penetrabilità e diffusione della colletta a caldo

Le moderne tecniche di restauro, al fine di realizzare un efficace consolidamento dei film pittorici e delle preparazioni dei dipinti su tavola, devono risultare le più invasive possibili. Il consolidante deve raggiungere estesamente, omogeneamente e in profondità tutte le parti decoese interessate dal trattamento. Naturalmente questa operazione è praticamente irreversibile, quindi si pone il problema di utilizzare adesivi compatibili e omogenei con i materiali originali. Proprio perché il consolidante in questo contesto non può essere completamente reversibile, non deve pregiudicare l'utilizzo di collanti diversi e deve avere una compatibilità tale da permettere il proprio utilizzo anche in successivi interventi; quindi, in questo senso, a completamento del concetto di compatibilità e omogeneità, si potrebbe parlare anche di ripetibilità dell'intervento.

Per questo motivo, si è adoperata, nel ciclo di prove descritte nei successivi paragrafi, la colletta, estesamente impiegata nei dipinti sia come adesivo sia come consolidante naturale, in quanto soddisfa quelle esigenze di compatibilità menzionate prima.

La colletta è stata utilizzata a caldo per diminuire la viscosità e aumentare la penetrazione nei materiali interessati.

In tutte le prove, la colletta è stata colorata di rosso o di blu, secondo i casi, per segnalare la diffusione nei materiali presi in esame.

Con questa ricerca si è inteso analizzare in dettaglio e valutare la capacità di diffusione dei consolidanti, utilizzati sia su una superficie igroscopica come quella della preparazione a gesso e colla sia attraverso l'interfaccia di una pellicola non-igroscopica e la preparazione in differenti simulazioni.

Vogliamo chiarire meglio questo punto: tutti i campioni utilizzati, come già detto, hanno su di una faccia una stesura di gesso e colla che potrebbe essere, in linea generale, assimilata alla tipica preparazione dei dipinti su tavola. Questa è stata utilizzata in alcune prove come rilevatore dell'espansione del consolidante colorato, in altre, vi è stata applicata una pellicola plastica, trasparente e adesiva, assimilabile a una pellicola pittorica non porosa, non igroscopica e quindi impermeabile, ed è stata applicata con varie forme secondo le esigenze della ricerca.

È stata sfruttata anche l'anisotropia della superficie della preparazione, studiata e realizzata per assomigliare a quella di un dipinto (figura 28). Queste caratteristiche sono state utilizzate con maggior profitto negli studi di diffusione del consolidante tra preparazione e la pellicola plastica. La pellicola aderendo parzialmente alle piccole irregolarità della superficie del campione, di fatto ha ricostruito artificialmente le decoesioni (soprattutto quelle molto piccole) tra la preparazione e il colore di un dipinto su tavola, con l'enorme vantaggio di consentire la visione, attraverso la pellicola plastica trasparente, dei movimenti del collante opportunamente colorato nelle diverse condizioni e tecniche di consolidamento.

#### PROVA 7. DIFFUSIONE IN SOTTOVUOTO

Nell'ambito degli studi dei fenomeni di distribuzione in sottovuoto di un liquido (consolidante) negli strati preparatori e pittorici, è stata effettuata la ricerca di un materiale che potesse essere assimilato ad una sorta di preparazione artificiale.

Il materiale doveva essere omogeneo e inerte, inoltre non doveva presentare "inerzie" o "resistenze" igroscopiche che avrebbero reso le misurazioni di difficile interpretazione.

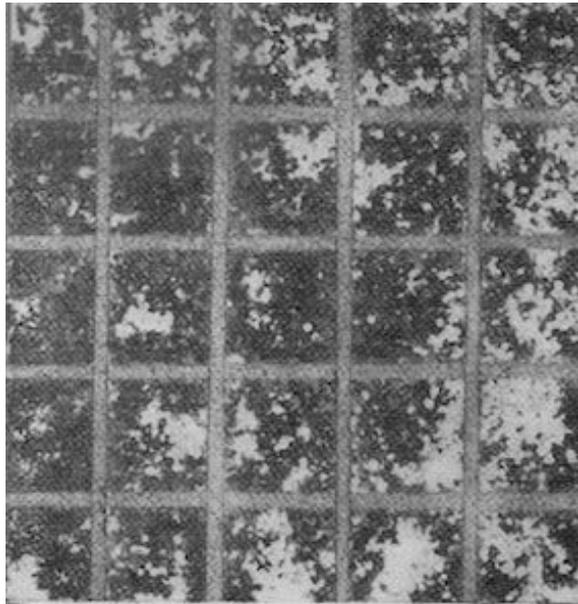
Dopo alcuni tentativi con materiali diversi, si è deciso di utilizzare per questa prova il polistirolo. Gli "sferoidi" costituenti il materiale sono pressati tra loro in modo abbastanza omogeneo, lasciando delle microfessurazioni. Il polistirolo inoltre è bianco e facilmente sezionabile, quindi adatto per ben evidenziare la distribuzione di un liquido colorato.

*Configurazione.* Il campione denominato K (figura 33) è costituito da una lastra di polistirolo espanso di 26 cm x 26 cm e di spessore 4 cm. La superficie è stata preparata con pezzetti di pellicola plastica adesiva di 5 cm x 5 cm, (simulazione di placche di colore) messe alla distanza di 6 mm l'una dall'altra (simulazione di mancanze di colore). Sopra l'area così allestita, sono stati collocati due strati di carta giapponese ed è stata eseguita in sottovuoto una simulazione di consolidamento alla pressione di -10 kPa. La colletta colorata con blu di metilene è stata iniettata a 65 °C in quantità di 20 ml. Il campione è stato lasciato impregnato in sottovuoto per un tempo di 10 minuti.

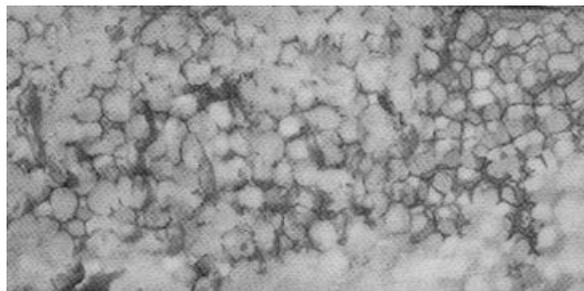
*Risultati.* Il liquido assorbito dalla carta giapponese è stato diffuso per effetto del sottovuoto attraverso lo spazio lasciato nella superficie tra una "placca" e l'altra; questo si è distribuito non solo tra la pellicola plastica e il polistirolo (figura 33),

ma omogeneamente su ogni sezione del campione attraversandolo per tutto lo spessore.

L'aria è stata rarefatta in una certa misura dallo spazio, anche se piccolissimo, tra uno "sferoide" e l'altro, lasciando una via obbligata al liquido, spinto nelle microfessurazioni dalla differenza di pressione, indipendentemente dallo spessore del materiale (figura 34).



*Figura 33. Campione K, tavoletta di polistirolo preparata con pezzetti quadrati di pellicola plastica trasparente, risultato della simulazione di consolidamento del colore in sottovuoto con colletta colorata di blu*



*Figura 34. Particolare della sezione del campione K, risultato della simulazione del consolidamento con colletta colorata di blu in sottovuoto*

*Commento.* Questo, in sostanza, è il meccanismo di distribuzione di un liquido in sottovuoto in un materiale poroso, che è molto differente dagli altri meccanismi di distribuzione, come per assorbimento capillare (impregnazione per immersione), per gravità (impregnazione delle superfici di contatto con applicazioni a pennello) o per pressione (impregnazione con iniezioni).

La prova indirettamente è assimilabile alle preparazioni decoese a gesso e colla dei dipinti, il consolidante potrebbe raggiungere in sottovuoto, sotto la pellicola pittorica, anche zone lontane dalla fonte d'impregnazione (siringa).

#### PROVA 8. DIFFUSIONE CON IMPREGNAZIONE IN SOTTOVUOTO

Scopo di questa prova è stato quello di studiare la diffusione della colletta con impregnazione in sottovuoto attraverso le mancanze artificiali della superficie del campione, ottenute praticando dei tagli più o meno larghi nella pellicola trasparente, utilizzata come simulatore di una pellicola pittorica. Questa è stata fatta aderire “a contatto” alla preparazione a gesso e colla.

Successivamente nel campione della prova 9, in alternativa all'impregnazione in sottovuoto, è stata applicata una tecnica d'impregnazione a pressione atmosferica per confrontare le due metodiche.

*Configurazione.* Il campione denominato P (figura 35) è una tavoletta in legno di pioppo di 20 cm x 20 cm x 3 cm con preparazione di spessore 2 mm.

La superficie è stata preparata con sedici grandi pezzi di pellicola adesiva<sup>11</sup>, plastica e trasparente, distanziati tra loro circa 6/7 mm.

Quattro “placche” sono state incise con un bisturi a formare un reticolo stretto di circa 1,0 cm x 0,5 cm; altre quattro un reticolo di circa 2,0 cm x 1,5 cm (simulazione della craquelure); le altre otto rimanenti, sono state lasciate della misura di circa 5 cm x 4 cm (simulazione di grandi placche di colore prive di crettature).

È stata eseguita una simulazione di fermatura in sottovuoto: sono stati iniettati, sopra due strati di carta giapponese che ricoprivano la superficie del campione come di consueto, 20 ml di colletta colorata di blu alla temperatura di 65 °C e alla pressione di -10 kPa.

Il campione è stato lasciato impregnato in sottovuoto per un'ora e trenta minuti; come già detto, è un tempo calcolato sufficientemente lungo per eseguire queste operazioni nei grandi dipinti.

*Risultati.* La colletta colorata è penetrata con successo sotto le placche di pellicola trasparente, segnando la preparazione.

#### PROVA 9. DIFFUSIONE A PRESSIONE ATMOSFERICA

In alternativa alla prova 8, abbiamo voluto misurare l'espansione del consolidante con una tecnica tradizionale.

---

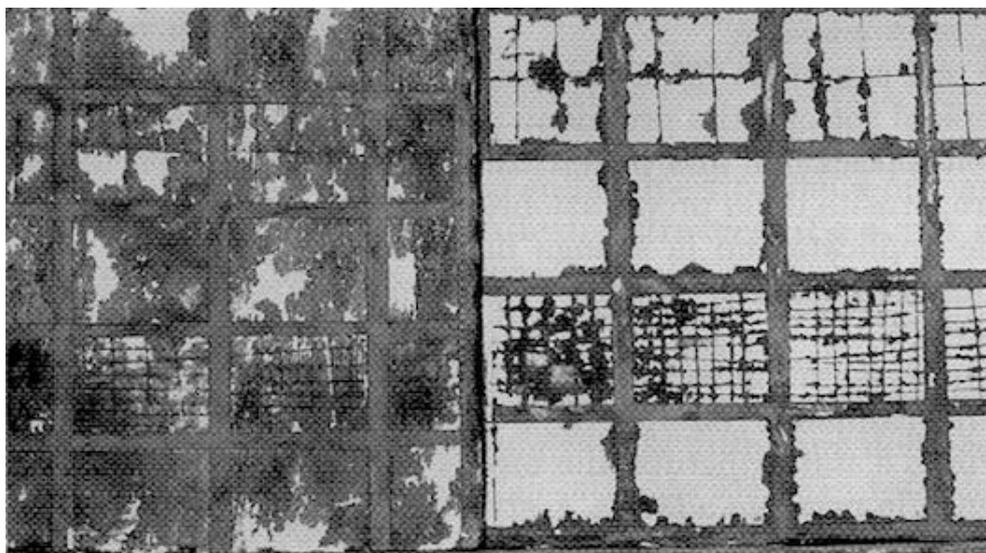
<sup>11</sup> - La preparazione del campione ha determinato un'ottima adesione del tipo “a contatto”, in quanto se si tentava di rimuovere la pellicola si danneggiava la preparazione, ma volutamente non perfetta, per simulare il fenomeno dei microdistacchi, presenti negli strati preparatori e pittorici degradati dei dipinti.

*Configurazione.* Sul campione denominato 2 (figura 35), preparato come il precedente, è stato simulato un consolidamento del colore e della preparazione con una tipica tecnica a pressione atmosferica.

Sulla superficie del campione è stata applicata, con un pennello, la colletta colorata di blu alla temperatura di 65 °C. La zona interessata è stata ricoperta da due fogli di alluminio e per mantenere la fluidità del sol, il collante è stato riscaldato per 10 minuti alla temperatura di 55 °C.

*Risultati.* La penetrazione del consolidante sotto le grandi placche e anche nel reticolo a imitazione della craquelure è stata scarsissima, con una differenza sostanziale rispetto al trattamento in sottovuoto.

È stata eseguita una fotografia in luce diffusa dei campioni delle prove 8 e 9 a confronto (figura 35).



*Figura 35. Campione P (a sinistra), risultato della prova 8 di simulazione del consolidamento del colore in sottovuoto. Campione 2 (a destra), risultato della prova 9 di simulazione del consolidamento del colore a pressione atmosferica*

#### PROVA 10. DIFFUSIONE LOCALIZZATA IN SOTTOVUOTO E A PRESSIONE ATMOSFERICA (INIEZIONI DI 0,25 ml)

Con questa prova, si sono voluti raccogliere dati per sfruttare la possibilità di applicare la tecnica del sottovuoto, anche nel consolidamento del colore localizzato con consolidante naturale, misurando la capacità di penetrazione di un liquido tra la “pellicola” e la preparazione.

*Configurazione.* È stata praticata una iniezione per ciascun campione di 0,25 ml (1/4 di una siringa da insulina da 1 ml) di colletta colorata di rosso a 65 °C, praticata inserendo l'ago tra la pellicola plastica trasparente e la preparazione.

I campioni di 20 cm x 20 cm, denominati "0", "5", "10", "60" (figure 36, 37, 38, 39), sono stati preparati applicando su tutta la superficie la pellicola plastica non igroscopica e trasparente per simulare una pellicola pittorica priva di qualsiasi crettatura o microcrettatura.

Il liquido è stato iniettato molto lentamente a pressione atmosferica e in sottovuoto a -5 kPa, -10 kPa, -60 kPa.

*Risultati.* Il consolidante, in tutte le prove in sottovuoto, si è espanso sotto la pellicola plastica trasparente in modo uniforme, seguendo le leggerissime depressioni verticali lasciate nella superficie dalle pennellate in fase di stesura della preparazione.

La macchia di colletta colorata derivata dall'iniezione è risultata di forma ovale, e la sua massima estensione si è sviluppata sempre parallela al verso delle pennellate che costituivano di per se vie privilegiate di espansione del liquido.

I risultati sono riassunti e sintetizzati nella seguente tabella 9.

1) Iniezione di 0,25 ml di colletta a 65 °C	Sottovuoto impostato [kPa]	Dimensione massima dell'espansione [cm]
Campione "0"	pressione atmosferica	4,7/3,6
Campione "5"	-5	11,2/7,5
Campione "10"	-10	11,5/7,4
Campione "60"	-60	10,5/8,3

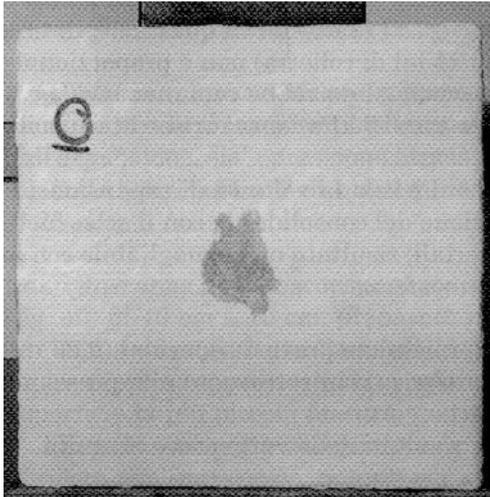
*Tabella 9. Misura di espansione di 0,25 ml di colletta alla pressione atmosferica e ai differenti valori di sottovuoto*

*Commento.* L'espansione nel campione "0" è risultata minore di circa l'80% rispetto a quella dei campioni sottoposti a pressione in sottovuoto (figura 36).

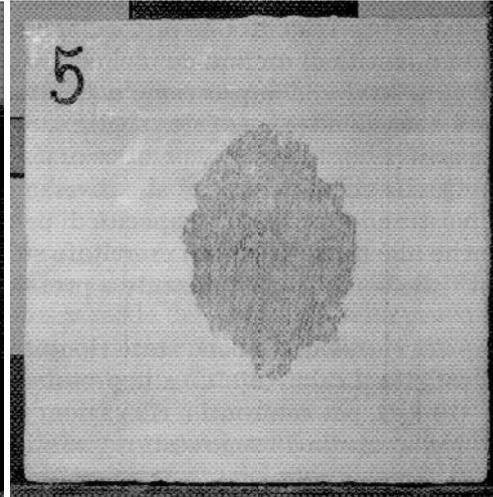
Il motivo va ricercato nell'opposizione alla penetrazione del liquido da parte dell'aria presente nelle microporosità della preparazione.

La pressione manuale applicata con la siringa ha permesso fino ad un certo punto l'espansione; il liquido in eccesso, durante l'operazione, è traciato disperdendosi nell'ambiente esterno.

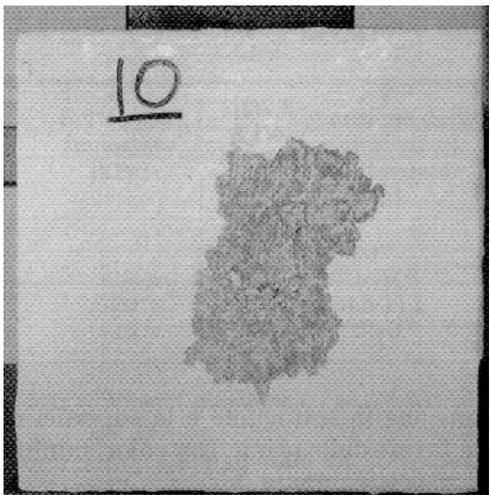
L'ampiezza dell'area interessata dal consolidante nel campione "5" (figura 37), nel campione "10" (figura 38) e nel campione "60" (figura 39) è risultata pressoché identica.



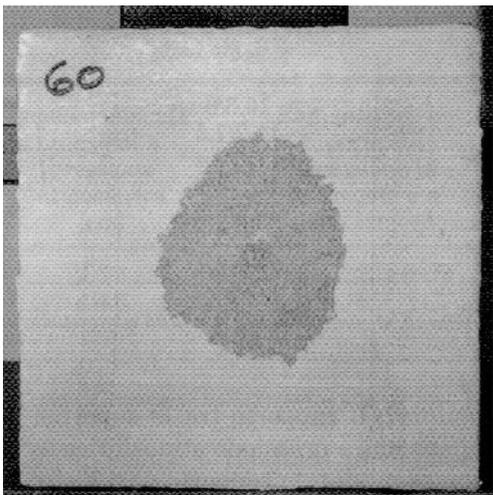
*Figura 36 – Campione “0”, risultato dell’espansione dell’iniezione di colletta colorata di rosso a pressione atmosferica*



*Figura 37. Campione “5”, risultato dell’espansione dell’iniezione di colletta colorata di rosso in sottovuoto alla pressione di -5 kPa*



*Figura 38. Campione “10”, risultato dell’espansione dell’iniezione di colletta colorata di rosso in sottovuoto alla pressione di -10 kPa*



*Figura 39. Campione “60”, risultato dell’espansione dell’iniezione di colletta colorata di rosso in sottovuoto alla pressione di -60 kPa*

La prova 10 in sottovuoto è stata ripetuta alle medesime pressioni (-5 kPa, -10 kPa, -20 kPa, -60 kPa) senza la pellicola adesiva, sostituendo il foglio di nylon della parte superiore della busta con un foglio di melinex, allo scopo di aumentare con la pressione del vuoto l'aderenza sulla superficie della preparazione.

Le iniezioni sono state praticate attraverso il melinex della busta direttamente sulla preparazione dei campioni.

L'area dell'espansione del liquido in sottovuoto è risultata pressoché coincidente con quella ottenuta con la pellicola adesiva.

In pratica, con questi test, è stato accertato che la presenza della pellicola trasparente adesiva non ha influenzato la diffusione della colletta, dimostrando così di essere un modello di pellicola pittorica ideale in tutte le situazioni sperimentali con l'utilizzo di questo consolidante.

I risultati, riportati nella tabella 9, nel loro insieme sono molto interessanti e indicano che l'espansione dimensionale, attraverso i materiali in questione, di una data quantità di un liquido (nel nostro caso 0,25 ml di colletta) non è proporzionale all'aumentare della pressione del sottovuoto, come si potrebbe comunemente pensare, ma già oltre una certa soglia (nel nostro caso -5 kPa), si esaurisce la capacità espansiva.

Quello che può variare alle diverse pressioni è solo la velocità di espansione<sup>12</sup>, dimostrando l'eccellente capacità di penetrazione del consolidante con il sottovuoto anche alle basse pressioni esercitate sui materiali; risultato non eguagliabile con le tecniche tradizionali utilizzate a pressione atmosferica.

*Tabella riassuntiva.* Sono state ripetute numerosissime prove di iniezioni (0,25 ml) di colletta a caldo (65 °C) alla pressione atmosferica e in sottovuoto alla pressione di -10 kPa, per confronti e rilevazioni statistiche.

Nella tabella 10 sono stati riassunti alcuni risultati delle varie prove eseguite.

---

12 - Il risultato della prova 10 è determinato dal fatto che le microfessurazioni, tra la pellicola trasparente e la preparazione, costituiscono una sorta di canali che consentono il passaggio del liquido in una quantità ben definita, come analogamente le decoesioni e le porosità all'interno degli strati pittorici e preparatori dei dipinti degradati.

Per spiegare meglio la questione, possiamo fare questo semplice esempio: per bere un liquido da un bicchiere con una cannuccia, con la bocca aspiriamo l'aria, all'interno della cannuccia si produce un vuoto parziale e il liquido si solleva per riempire quel vuoto spinto dalla pressione atmosferica esterna. Se aspiriamo lentamente, realizziamo un debole sottovuoto e il liquido si sposta lentamente, se aspiriamo con forza, realizziamo un sottovuoto più forte e il liquido si sposta molto più rapidamente, ma sia in un caso sia nell'altro, alla fine, tutto il liquido è stato bevuto.

Con la prova 10 di espansione del liquido in sottovuoto, si è cercato di visualizzare e misurare questa portata negli strati preparatori dei campioni. Inoltre, il risultato si adatta perfettamente all'esigenza di ottenere la maggiore penetrazione possibile di un consolidante indipendentemente dai valori di pressione. Quindi, nella pratica di restauro, non essendoci utile la velocità di espansione, sceglieremo le minime pressioni utili di sottovuoto in modo da evitare stress al dipinto.

Dimensione massima dell'espansione dell'iniezione di 0,25 ml (tra la pellicola adesiva e la preparazione) con colletta a caldo in sottovuoto a -10 kPa [cm]	Dimensione massima dell'espansione dell'iniezione di 0,25 ml (tra la pellicola adesiva e la preparazione) con colletta a caldo a pressione atmosferica [cm]
10,5/8,0	3,2/2,2
11,2/7,5	5,0/1,8
11,5/7,4	3,5/2,8
10,6/8,2	4,7/2,6
10,5/8,3	5,0/3,5
11,2/7,8	6,0/3,2
10,8/8,1	6,0/4,5

Tabella 10. Misura di espansione di 0,25 ml di colletta in sottovuoto e alla pressione atmosferica

*Risultati.* Il rapporto tra le superfici di espansione in sottovuoto e le superfici di espansione a pressione atmosferica è mediamente circa 6 volte maggiore in favore delle prime, con valori minimi e massimi di tale rapporto pari a circa 3 e 12 rispettivamente.

#### PROVA 11. DIFFUSIONE LOCALIZZATA IN SOTTOVUOTO E A PRESSIONE ATMOSFERICA (INIEZIONI DI 1 ml)

Abbiamo voluto verificare, a fronte dei risultati della prova 10, come il consolidante naturale si sarebbe distribuito e come sarebbe aumentata la zona interessata dall'espansione, sia a pressione atmosferica sia in sottovuoto, aumentando il liquido iniettato precisamente di quattro volte (1 ml) rispetto a quello utilizzato finora (0,25 ml).

*Configurazione.* A tale scopo, è stato allestito un nuovo campione denominato ST'' (figura 40) di 40 cm x 40 cm, preparato nello stesso modo dei campioni della prova 10. Vale a dire con tutta l'area della preparazione ricoperta dalla pellicola trasparente adesiva, e questa è stata applicata stando bene attenti a non creare nella superficie la più piccola fessura.

L'intento, come già accennato, era quello di imitare una grandissima campitura di colore non igroscopica, proprio per studiare lo spostamento del consolidante tra la "pellicola" e la preparazione.

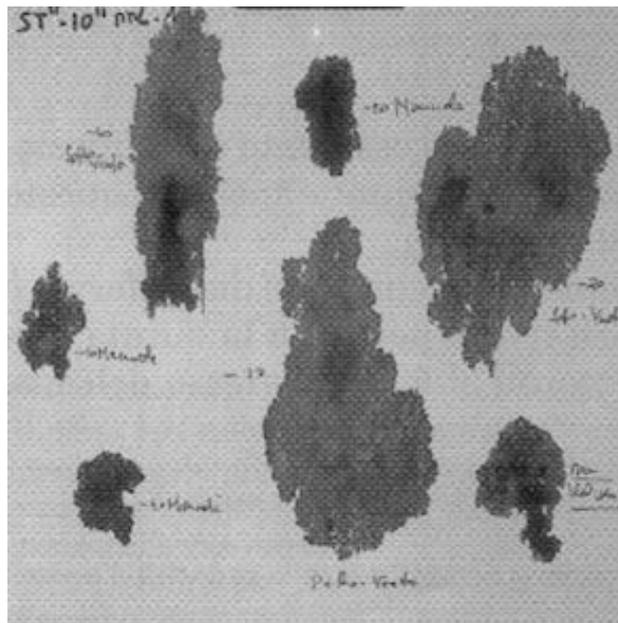
Nel campione sono state eseguite alcune prove di penetrabilità in sottovuoto a -10 kPa, -20 kPa, -40 kPa e a pressione atmosferica, con iniezione "sotto la pellicola" di 1 ml di colletta colorata di blu e alla temperatura di 65 °C.

*Risultati.* Dalle prove eseguite sono stati confrontati alcuni risultati nella tabella 11.

Sottovuoto impostato [kPa]	Espansione delle iniezioni in sottovuoto [cm]	Espansione delle iniezioni a pressione atmosferica [cm]	Rapporto tra le superfici di espansione in sottovuoto e a pressione atmosferica
-10	21,0/10,6	7,5/4,0	7
-20	20,5/11,2	7,3/4,2	8
-40	20,0/6,0	6,0/4,5	4

*Tabella 11. Misura di espansione di 1 ml di colletta ai differenti valori di sottovuoto e alla pressione atmosferica*

*Commento* - L'espansione in sottovuoto di ogni iniezione è risultata mediamente oltre 6 volte maggiore di quelle effettuate a pressione atmosferica (figura 40).



*Figura 40. Campione ST'', risultato dell'espansione dell'iniezione di 1 ml di colletta colorata di blu in sottovuoto alla pressione di -10 kPa (la grande macchia centrale), -20 kPa (la grande macchia a destra), -40 kPa (la grande macchia a sinistra). Le altre macchie più piccole sono il risultato delle iniezioni eseguite a pressione atmosferica*

L'espansione media dell'iniezione di 1 ml rispetto all'iniezione di 0,25 ml è risultata circa 2,2 volte maggiore per il sottovuoto e 2 volte maggiore per la pressione atmosferica.

Come si rileva dalla tabella 11 aumentando il liquido iniettato il rapporto tra le estensioni delle iniezioni in sottovuoto con quelle a pressione atmosferica è rimasto

praticamente invariato (circa 6 volte), come è rimasta invariata l'espansione in sottovuoto alle differenti pressioni; confermando i dati della precedente prova 10. Nell'iniezione di 1 ml a pressione atmosferica, il liquido non assorbito dalla preparazione è trascinata all'esterno della pellicola, ma l'espansione, rispetto alla corrispettiva di 0,25 ml, è risultata maggiore perché l'iniezione è stata spinta più a lungo.

Arrivati alle conclusioni delle prove 10 e 11, naturalmente ci siamo chiesti quale poteva essere il limite di massima estensione del consolidante utilizzando una sola iniezione.

Analizzando i dati in nostro possesso (vedi tabella 11) era inteso che dovevamo essere vicini al limite ricercato, in quanto la capacità espansiva, sia a pressione atmosferica sia in sottovuoto, non aumentava in modo esattamente proporzionale alla quantità del liquido iniettato; a questo punto si è ricercato questo limite in una ulteriore prova (vedi prova 12)

#### PROVA 12. MASSIMA DIFFUSIONE LOCALIZZATA IN SOTTOVUOTO E A PRESSIONE ATMOSFERICA

Abbiamo voluto misurare la massima espansione ottenibile e la conseguente quantità del liquido iniettato sia a pressione atmosferica sia in sottovuoto.

*Configurazione.* In un campione denominato Z di 40 cm x 40 cm, è stato applicato, sopra la preparazione, un foglio di melinex utilizzando un adesivo del tipo "a contatto". Sono state praticate iniezioni di 4 ml di colletta a 65 °C (colorata di blu) attraverso il melinex e la preparazione del campione in sottovuoto alla pressione selezionata di -10 kPa<sup>13</sup> e a pressione atmosferica.

*Risultati (sottovuoto).* Si è osservato che, iniettati 2 ml, il liquido ha raggiunto la massima estensione di 27 cm x 12 cm. Il liquido, iniettato successivamente (ulteriori 2 ml), si è disposto concentrandosi vicino al foro d'ingresso dell'ago, in parte è anche trascinata, ma non ha contribuito ad aumentare l'estensione della zona trattata perché la colletta ha cominciato a raffreddarsi, aumentando la viscosità e dando già luogo a fenomeni di gelificazione.

*Risultati (pressione atmosferica).* Lo stesso fenomeno è stato osservato con l'iniezione a pressione atmosferica, la massima estensione si è raggiunta anche in questo caso con 2 ml e l'espansione è risultata di circa 10 cm x 6 cm.

Il liquido si è spostato sulla superficie della preparazione in modo disuniforme e ramificato, privilegiando le vie più facili. È stata osservata, per tutta la durata dell'iniezione, una concentrazione del consolidante intorno al foro d'ingresso dell'ago. Il liquido, in parte è rimasto intrappolato tra la pellicola trasparente e la preparazione, formando una vescica, in parte è trascinata all'esterno.

---

13 - Come si può ricavare dalla prova 10, entro certi limiti la pressione non influenza la capacità d'espansione.

*Conclusion.* Con queste osservazioni si è compreso che il vantaggio di utilizzare il sottovuoto nelle iniezioni localizzate non è soltanto quello di una maggiore diffusione del consolidante, ma consiste anche in una distribuzione omogenea; al contrario delle iniezioni a pressione atmosferica che, portate alla loro massima estensione, mostrano addensamenti e una distribuzione ramificata del consolidante. Ricordiamo che stiamo parlando di verifiche su modelli, tuttavia la realtà dei dipinti non è molto lontana da quello che si è descritto; è verosimile che le iniezioni a pressione atmosferica diano luogo sui dipinti a concentrazioni del collante in prossimità del foro di uscita dell'ago e, con il consolidamento, a tensioni localizzate.

Da quanto possiamo ricavare da questo studio e dalla nostra esperienza pratica, riteniamo che si debba iniettare in sottovuoto il consolidante in giusta quantità<sup>14</sup>, e molto lentamente, per evitare, utilizzando dosi esagerate, i fenomeni di gelificazione sopra descritti.

La pressione del sottovuoto deve essere minima ma efficace, in modo che la velocità di espansione sia lenta, così da permettere al consolidante di diffondersi completamente anche in profondità negli strati preparatori.

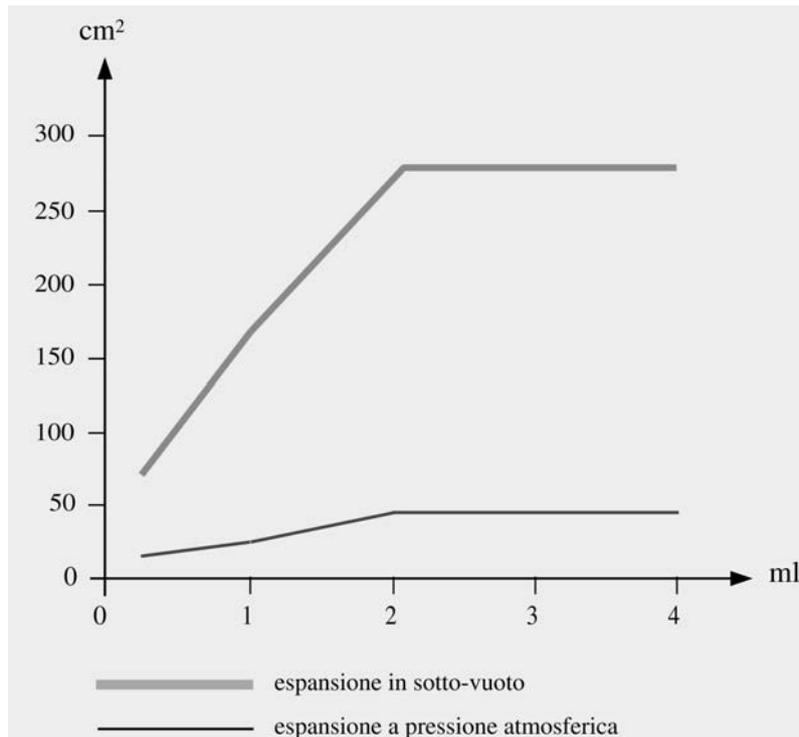
Con il grafico 1 si riassumono i risultati del ciclo delle prove 10, 11 e 12.

Nel grafico l'asse delle ordinate indica la misura in  $\text{cm}^2$  dell'estensione della zona trattata, mentre l'asse delle ascisse indica in ml la quantità di liquido utilizzato per ogni iniezione sia a pressione atmosferica sia in sottovuoto<sup>15</sup>.

---

14 - La dose deve essere commisurata in relazione allo stato di conservazione della preparazione del dipinto. Nel calcolare la "giusta dose" (scartando subito quelle eccessive), si deve considerare che a una preparazione più porosa, può corrispondere in sottovuoto, attraverso le decoesioni, una diffusione di una data quantità di liquido meno estesa (per un maggiore assorbimento del consolidante nelle microporosità) e viceversa.

15 - Nel grafico non sono indicate le diverse pressioni, in quanto indifferenti al fine della misura dell'espansione.



*Grafico 1. Estensione in sottovuoto e a pressione atmosferica delle differenti quantità del liquido iniettato*

Esaminando il grafico, è molto chiaro che il rapporto dell'estensione tra sottovuoto e pressione atmosferica è praticamente costante in tutte le quantità di liquido iniettato, ed è mediamente circa 6 volte maggiore in favore del sottovuoto.

Un dato interessante, che emerge da tutte le misure delle superfici dell'espansione in sottovuoto con queste metodiche di iniezioni localizzate, è la quantità del liquido impiegato che, a parità di zona trattata, è risultato circa 10 volte inferiore a quello distribuito con la tecnica di impregnazione della carta giapponese, come per esempio nella prova 8.

##### *5. Ulteriori studi di penetrabilità con colletta*

Per completare gli studi di penetrabilità con consolidante naturale, abbiamo voluto misurare se l'effetto ben noto degli alcoli organici (iniettati prima della colletta) di diminuire la tensione superficiale della soluzione acquosa del collante (aumentandone la bagnabilità), favoriva, nelle iniezioni localizzate a pressione atmosferica, una maggiore espansione tra la preparazione e la pellicola plastica trasparente del campione; magari avvicinandosi all'espansione delle iniezioni localizzate in sottovuoto. Vogliamo precisare che qui ci si riferisce solo all'espansione del liquido nelle decoesioni artificiali, e non nelle microporosità della preparazione a gesso e colla, in quanto la bagnabilità non favorisce l'impregnazione in questi materiali.

Allo scopo sono state condotte, su un campione di 20 cm x 20 cm, delle prove a pressione atmosferica di diffusione con iniezioni di 0,25 ml di colletta a caldo, precedute da iniezioni di 0,30 ml di alcool etilico.

Nelle prove con l'utilizzo dell'alcool, la colletta a contatto di quest'ultimo è sembrata diluirsi e ramificarsi nelle fessurazioni, ma sostanzialmente rimanendo nei limiti di espansione di quelle iniezioni a pressione atmosferica senza l'ausilio dell'alcool (figura 41). Inoltre, per confermare questi dati, sono stati effettuati ulteriori test, e le conclusioni sono che l'effetto dell'alcool non è determinante per l'espansione della colletta.

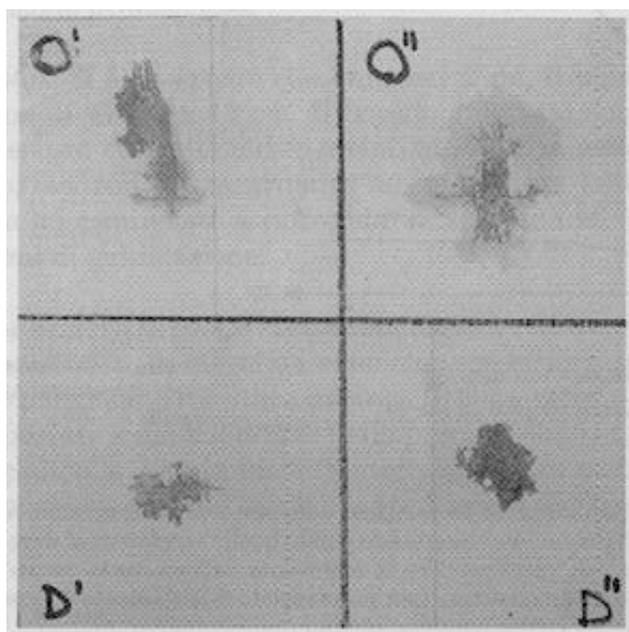


Figura 41. Risultati e confronti dell'espansione delle iniezioni di colletta colorata nei riquadri 0' e 0'' (precedute da iniezioni di alcool etilico), con l'espansione delle iniezioni di colletta nei riquadri D' e D''

#### 6. Penetrabilità con resina sintetica Plexisol P550

È raro l'utilizzo di un collante sintetico nel consolidamento degli strati pittorici nei dipinti su tavola<sup>16</sup>, ma in casi particolari si rende necessario proprio perché non si può intervenire con il collante naturale.

Per questo motivo si è pensato di studiare la diffusione di una resina sintetica a pressione atmosferica e in sottovuoto negli strati preparatori di campioni con la stessa configurazione di quelli utilizzati per gli studi di espansione con colletta.

---

16 - Nella Parte IV, *Applicazioni pratiche*, al paragrafo 4, è stato presentato un lavoro di consolidamento degli strati pittorici con Plexisol di un dipinto su tavola di R. del Ghirlandaio, effettuato nel 1996. Nello stesso anno è stata eseguita all'OPD una fermatura del colore con Plexisol sul dipinto su tavola detta "Pala Pitti" A. RAMAT, C. CASTELLI, M. PARISI, A. SANTACESARIA, "Sacra Conversazione", *Matrimonio mistico di Santa Caterina, detta "Pala Pitti"*, OPD Restauro 8, Firenze, 1996, pp. 228-235.

Per queste prove si è impiegato il Plexisol P550 sia per le buone qualità chimiche e fisiche sia perché è stato sperimentato e utilizzato nel campo del restauro con notevole successo, in particolare come consolidante e come impermeabilizzante nei dipinti su tela, inoltre esiste da tempo una letteratura sull'argomento<sup>17</sup>.

### PROVA 13. DIFFUSIONE LOCALIZZATA IN SOTTOVUOTO E A PRESSIONE ATMOSFERICA

Abbiamo verificato l'espansione tra la pellicola trasparente adesiva e la preparazione a gesso e colla, in sottovuoto a -10 kPa e alla pressione atmosferica, della resina Plexisol P550 in concentrazione 1/10 in white spirits e colorata con blu di metilene.

*Configurazione.* Sono state praticate iniezioni di 0,25 ml di resina leggermente riscaldata, inserendo l'ago tra la pellicola plastica e la preparazione.

*Risultati.* Sintetizzati nella tabella 12

Dimensione massima dell'espansione Iniezione di 0,25 ml con Plexisol P550 in sottovuoto a -10 kPa [cm]	Dimensione massima dell'espansione Iniezione di 0,25 ml con Plexisol P550 a pressione atmosferica [cm]
1,3/0,8	1,5/1,0
1,5/1,0	2,0/0,8
2,0/1,5	2,0/1,2
2,0/1,8	2,0/1,6

Tabella 12. Misura di espansione di 0,25 ml di Plexisol in sottovuoto e alla pressione atmosferica

Il rapporto tra le superfici di espansione in sottovuoto e le superfici di espansione a pressione atmosferica è circa 1, con valori minimi e massimi di tale rapporto pari a circa 0,3 e 2 rispettivamente.

*Commento.* Il dato che colpisce, analizzando la tabella 12, è quanto sia circoscritta la zona interessata dall'espansione della resina in sottovuoto e alla pressione atmosferica.

17 - Per l'utilizzo e le concentrazioni nel consolidamento dei dipinti su tela vedi: VISHWA RAJ MEHRA, *Foderatura a freddo*, Nardini Editore, Firenze, 1995, pp. 43-45.

Uno studio di penetrabilità su tela con il Plexisol è stato effettuato da BENEDETTA FAZI e BRUNO VITTORINI in *Nuove tecniche di foderatura*, Nardini Editore, Firenze, 1995, pp. 53-55.

Un'interessante ricerca sugli effetti del consolidamento di supporti cellulosici tessili, con comparazioni tra un consolidante naturale e alcuni sintetici tra cui il Plexisol P550, è stata realizzata da A.M. BONFATTI, E. ROSSI, A. SARDELLA, G.C. SCICOLONE, A. SEVES, G. TESTA, *Indagini sugli effetti del consolidamento di supporti cellulosici tessili a diversi stadi di degradazione*, Kermes 22, Firenze, gennaio-aprile 1995, pp. 11-17.

In pratica, la pressione del sottovuoto è risultata ininfluyente, il consolidante è riuscito ad espandersi solo per la forte pressione esercitata sul pistone della siringa e il liquido non assorbito dalla preparazione è trascinata all'esterno della pellicola adesiva.

Per comprendere meglio il motivo di questi risultati, si è pensato di condurre un'ulteriore prova con concentrazioni differenti della resina (1/10 e 1/20).

I risultati non sono cambiati, ma si è chiaramente osservato che le difficoltà di espansione della resina Plexisol sono causate dal solvente che ha interagito solubilizzando il collante sintetico del tipo "a contatto" della pellicola trasparente, creando, tra i due adesivi, una vera e propria massa viscosa che ha impedito ogni ulteriore tentativo d'impregnazione degli strati preparatori del campione.

#### PROVA 14. DIFFUSIONE LOCALIZZATA IN SOTTOVUOTO (RAFFRONTO PLEXISOL E COLLETTA)

Abbiamo voluto misurare l'espansione della resina sintetica sulla superficie di un campione, ma questa volta senza la "pellicola" a ostacolare la diffusione negli strati preparatori.

*Configurazione.* Il campione è stato inserito in una busta costruita con nylon.

Le iniezioni di 0,25 ml sono state quindi praticate in sottovuoto a -10 kPa tra il nylon della busta e la preparazione del campione.

Abbiamo confrontato, nella tabella 13, l'espansione delle iniezioni ottenute con il Plexisol con quelle eseguite con 0,25 ml di colletta a caldo attraverso la "pellicola" in sottovuoto alla medesima pressione di -10 kPa.

*Risultati.* Il rapporto, tra le superfici di espansione con Plexisol e le superfici di espansione con colletta in sottovuoto, è risultato 1,2 in favore della resina, con valori minimi e massimi di tale rapporto pari a 1 e 1,4 rispettivamente; vedi tabella 13.

Dimensione massima dell'espansione dell'iniezione di 0,25 ml (tra il nylon della busta e la preparazione) con Plexisol P550 concentrato 1/10 in sottovuoto a -10 kPa [cm]	Dimensione massima dell'espansione dell'iniezione di 0,25 ml (tra la pellicola adesiva e la preparazione) con colletta concentrata 1/19 in sottovuoto a -10 kPa [cm]
11,0/8,0	10,6/8,2
10,5/8,5	10,5/8,3
12,5/7,5	11,2/7,8
12,0/10,0	10,8/8,1

Tabella 13. Misura di espansione di 0,25 ml di Plexisol e 0,25 ml di colletta in sottovuoto

*Commento e considerazioni.* È importante osservare gli effetti combinati dei collanti (colletta e Plexisol) con l'adesivo sintetico a contatto della pellicola trasparente.

Si è osservato che la colletta si distribuisce passando attraverso le microfessurazioni, tra la preparazione del campione e la parte adesiva della pellicola plastica, senza che quest'ultima ne ostacoli la penetrazione (l'argomento è stato introdotto nel commento della prova 10).

Al contrario, abbiamo notato che il solvente in cui la resina è in concentrazione scioglie l'adesivo sintetico della pellicola plastica rendendolo molto viscoso.

Si comprende perché in queste condizioni con le iniezioni di Plexisol, sia in sottovuoto sia a pressione atmosferica, si è ottenuta una penetrazione molto inferiore a quella della colletta.

La conferma di quanto detto è nei dati interessanti della tabella 13; questi dimostrano che utilizzando il Plexisol senza la pellicola trasparente adesiva, si realizza una diffusione in sottovuoto praticamente identica se non superiore a quella della colletta. È da tenere presente, che questa simulazione potrebbe rappresentare effettivamente l'espansione del Plexisol tra le fratture e i distacchi della preparazione e del colore in un dipinto degradato.

D'altra parte le osservazioni desunte dalla prova 13, relativa alle iniezioni tra adesivi sintetici, portano alla conclusione che trattamenti ripetuti nel tempo, tramite resine sintetiche (diverse, ma anche uguali), perdono progressivamente la loro efficacia; la capacità espansiva diminuisce, vengono a crearsi zone "iperimpermeabilizzate", la successiva introduzione di adesivi in soluzione acquosa viene vanificata.

Mentre, come si è già verificato nella prova 4 e come risulta dal successivo paragrafo 7, l'utilizzo moderato e con opportune metodiche del Plexisol a bassa concentrazione non ostacola la penetrazione della colletta a caldo; anzi, queste caratteristiche di "efficace compresenza" possono essere sfruttate in quei dipinti su tavola in cui non si possa intervenire direttamente con il solo consolidante naturale<sup>18</sup>.

### *7. Impermeabilizzazione con resina sintetica Plexisol*

Questa ricerca si inserisce in uno studio più ampio che esamina la possibilità, nei dipinti su tavola, di applicare metodiche e concentrazioni della resina sintetica

---

18 - Riteniamo interessante e pertinente citare alcuni brani di ciò che è stato detto da Erasmus Weddigen, direttore del Museo di Berna, alla conferenza di Botticino (BRESCIA) del 31 maggio 1985, dal tema " Tecniche della conservazione dei supporti dei dipinti su tela: il problema della non foderatura". E. WEDDIGEN a proposito dell'utilizzo delle resine sintetiche ha detto: «Questi mezzi moderni vanno utilizzati solo in minima quantità, nessun mezzo è buono o cattivo in assoluto, dipende dalle quantità [...] Si crea una impregnazione molto cauta, che circonda la fibra con un leggero film di protezione, senza chiudere gli interstizi e formando una specie di corsetto anticorrosivo ed elastico». Analogamente si può ipotizzare che la resina sintetica possa creare un "corsetto protettivo" anche intorno alle parti decoese degli strati pittorici e preparatori dei dipinti su tavola, impedendo all'umidità di sfaldare una preparazione a gesso e colla particolarmente reattiva, ma non di espletare la funzione adesiva o consolidante di un collante in soluzione acquosa.

Plexisol, tali da sfruttare le caratteristiche protettive della resina, combinate con quelle adesive della colletta.

Queste procedure sono applicate da qualche tempo ai dipinti su tela, dove si fa precedere una impermeabilizzazione con il Plexisol<sup>19</sup>, ad una fermatura generalizzata con impregnazione di colletta a caldo.

*Configurazione.* Il Campione di 20 cm x 40 cm (figura 42) è stato diviso in otto sezioni.

Le sezioni M e M' sono state impermeabilizzate con tre successive stesure di resina sintetica Plexisol P550 concentrata 1/4 in white spirits.

Le sezioni M1 e M1' sono state trattate nello stesso modo, ma con una concentrazione minore della resina (1/12).

Tutte le sezioni N e N' non sono state impermeabilizzate per confronti e verifiche.

Le sezioni M, N, M1 e N, sono state preparate collocando un doppio strato di carta giapponese sopra la superficie (figura 43).

Il campione è stato sottoposto in sottovuoto alla pressione di -10 kPa.

Sono stati Iniettati 50 ml di colletta alla temperatura di 65 °C.

Il campione è stato lasciato impregnato in sottovuoto per 40 minuti.

M	N	M1	N
Stesura di tre mani di Plexisol P550 concentrato 1/4	Nessuna impermeabilizzazione	Stesura di tre mani di Plexisol P550 concentrato 1/12	Nessuna impermeabilizzazione
M'	N'	M1'	N'
Stesura di tre mani di Plexisol P550 concentrato 1/4	Nessuna impermeabilizzazione	Stesura di tre mani di Plexisol P550 concentrato 1/12	Nessuna impermeabilizzazione

*Figura 42. Campione diviso in otto sezioni*

*Risultati.* I risultati sono sintetizzati nella figura 43.

19 - A. P. TORRESI parla dell'utilizzo del Plexisol come prodotto impermeabilizzante per dipinti che non vanno rintelati in *I dipinti dell'Ottocento e del Novecento. Note sulla tecnica e sul restauro.* Liberty house, Ferrara, 1990, pp. 46-47 e pp. 99-100.

M Stesura di tre mani di Plexisol P550 concentrato 1/4  NESSUN DANNO Carta giapponese	N   NESSUN DANNO Carta giapponese	M1 Stesura di tre mani di Plexisol P550 concentrato 1/12  NESSUN DANNO Carta giapponese	N   NESSUN DANNO Carta giapponese
M' Stesura di tre mani di Plexisol P550 concentrato 1/4  NESSUN DANNO	N'   DANNI	M1' Stesura di tre mani di Plexisol P550 concentrato 1/12  LIEVI DANNI	N'   DANNI

Figura 43. Campione diviso in otto sezioni, risultato dell'impregnazione con colletta

Nei riquadri (M, N, M1 e N) protetti dalla carta giapponese la busta è stata aperta senza creare danni di rilievo alla preparazione, nonostante la lunga permanenza all'umidità.

Il fatto che la carta giapponese non si poteva rimuovere solo con l'azione del solvente, nelle parti (M e M1) trattate con la resina sintetica, ha mostrato che la colletta è penetrata in una superficie porosa come quella a gesso e colla, nonostante l'impermeabilizzazione.

Questi risultati hanno confermato, come nella prova 4, l'efficacia del consolidante naturale e la compatibilità con il Plexisol P550.

In quelle zone del campione senza la carta giapponese, i danni, causati dall'esposizione all'umidità della colletta nella parte M' trattata con la resina sintetica a maggiore concentrazione, sono stati nulli, dimostrando una protezione da impermeabilizzazione. Nella zona M1', trattata con la resina a minore concentrazione (che ha offerto una protezione inferiore), i danni sono stati lievi; mentre in tutte le parti N' non trattate, si è registrato qualche danno di rilievo.

Inoltre, l'assenza di problemi in tutte le sezioni con la carta giapponese ha dimostrato che questa ha protetto efficacemente dall'umidità le superfici delicate come quelle a gesso e colla. È importante non confondere la protezione della preparazione da parte della carta giapponese con quella del Plexisol. Nel primo caso la protezione di un dipinto si realizza solo in superficie e in modo transitorio. Nel secondo, il Plexisol, penetrando attraverso le cretture del colore e le decoesioni della preparazione, svolge una funzione impermeabilizzante all'interno di questi strati.

*Commento e considerazioni.* Tenendo conto di queste indicazioni, si possono progettare interventi particolarmente delicati in dipinti su tavola reattivi all'umidità.

In questi casi di particolare degrado, si può intervenire consolidando e impermeabilizzando parzialmente il colore con la resina sintetica Plexisol tramite impregnazione in sottovuoto, rendendo i materiali interessati meno sensibili

all'umidità, ma con concentrazioni, metodiche e tecniche tali da non inibire l'uso successivo di altri adesivi. Si deve tener presente anche il fenomeno dell'invecchiamento di queste resine che (alcuni test lo confermano) con il passare del tempo diventano fragili e non sono più rimovibili con lo stesso solvente.

Questo primo intervento con il Plexisol potrà sanare i piccoli distacchi (crestine del colore, microfrazture, ecc.) della pellicola pittorica. Un successivo intervento, grazie all'adeguata impermeabilizzazione con la resina sintetica, permetterà dove prima non era possibile l'utilizzo del consolidante naturale in soluzione acquosa (più efficace per il consolidamento delle microporosità della preparazione e per l'adesione dei distacchi).

L'applicazione del consolidante naturale si potrà attuare con un intervento localizzato a pressione atmosferica o generalizzato in sottovuoto.

Tenendo presente che parliamo di dipinti sensibilissimi all'umidità, con un'impregnazione con Plexisol in sottovuoto e il trattamento localizzato con la colletta, si ottiene sicuramente un controllo costante e sicuro degli strati preparatori (i maggiori responsabili del degrado insieme al supporto ligneo).

In linea teorica, per evitare di consolidare la preparazione solo a zone, si dovrebbe intervenire con un'impregnazione generalizzata con colletta in sottovuoto, ma in questo caso non si potranno controllare le eventuali reazioni del dipinto all'umidità del trattamento e nemmeno i test preventivi potranno assicurare la mancanza di rischi.

Un'alternativa alle tecniche di consolidamento con colletta, menzionate in precedenza, può venire da uno sviluppo avanzato e perfezionato delle stesse, che consiste nell'inserire, attraverso le rotture del colore, il consolidante, opportunamente concentrato, direttamente sotto gli strati pittorici con iniezioni localizzate, ma eseguite in sottovuoto. Anche se inserita a zone, la colletta, con il favore della depressione, si espande completamente all'interno degli strati pittorici e preparatori, così concentrandosi in misura minore riduce il rischio di innescare le "tensioni localizzate" (vedi prove 10 e 11).

Questa sofisticata metodica, in grado di soddisfare esigenze complesse o particolari, è stata realizzata e descritta nelle Appendici al punto 1 ed è in fase di ricerca e di sviluppo<sup>20</sup>.

---

20 - Si può consolidare con questo sistema anche gran parte o tutta la superficie pittorica, monitorando l'intervento con una telecamera per la termovisione per evidenziare il calore della colletta che si espande sotto gli strati pittorici di dipinti compatibili con questa tecnica. Attraverso la telecamera si può guidare l'operatore nel "dosare" l'inserimento del collante e nel "segnare" la zona trattata. Per verificare i limiti o meglio i confini della visione termografica, in relazione all'espansione del consolidante, si possono eseguire immagini radiografiche di *prima* e *dopo* il consolidamento del colore in zone mirate, avendo cura di solubilizzare con il consolidante un tracciante radioopaco come il solfato di bario. Tali ricerche e sperimentazioni sono pubblicate: A. ALDROVANDI, N. PRESENTI, M. VERDELLI, *Indagini termografiche e sottovuoti localizzati nella conservazione dei dipinti su tavola. Nuove ricerche e risultati*. OPD Restauro 18, 2006.

Un articolo analogo è liberamente reperibile in PDF presso il nostro sito: <http://www.toscanarestauroarte.it/pubbart.asp?idmenu=23&idlingua=1>

ARTICOLO DI RESTAURO INTERNO N°2 - AGOSTO 2008 - *Indagini Termografiche e Radiografiche nel Consolidamento in Sottovuoto degli Strati Pittorici dei Dipinti su Tavola*.

Autori: Mario Verdelli, Nadia Presenti e Alfredo Aldrovandi.