

LA DEACIDIFICAZIONE DELLA CARTA E DEI TESSUTI

Materiali e metodi a confronto

-INDICE-

INTRODUZIONE	p. 5
PRIMA PARTE	p. 7
1. La cellulosa	p. 8
1.1. Composizione	p. 8
1.2. Degrado	p. 10
1.2.1. Idrolisi	p. 11
1.2.1.1. Idrolisi acida	p. 11
1.2.1.2. Idrolisi basica	p. 12
1.2.2. Ossidazione	p. 13
1.2.3. Autossidazione	p. 15
2. I materiali cellulosici nell'arte: la carta e i tessuti	p. 16
2.1. La carta	p. 16
2.1.1. Breve storia	p. 16
2.1.2. Fabbricazione	p. 20
2.1.2.1. La carta vergata	p. 20
2.1.2.2. La carta liscia	p. 22
2.1.3. Degrado del materiale cartaceo	p. 24

2.2. I tessuti	p. 26
2.2.1. Breve storia	p. 26
2.2.2. Caratteristiche strutturali e meccaniche	p. 28
2.2.3. Degrado delle fibre tessili	p. 31
3. Il riconoscimento delle fibre tessili	p. 33
3.1. Riconoscimento al microscopio ottico	p. 34
3.2. Riconoscimento delle fibre tessili tramite saggi microanalitici (spot test)	p. 37
3.2.1. <i>Saggio alla fiamma</i>	p.38
3.2.2. <i>Saggio alla soda caustica</i>	p. 38
3.2.3. <i>Saggio all'acido solforico concentrato</i>	p. 39
3.2.4. <i>Saggio all'acido nitrico concentrato</i>	p. 39
3.2.5. <i>Saggio con il reattivo di Schweitzer</i>	p. 39
3.2.6. <i>Saggio con reattivo di Hertzberg</i>	p. 39
3.2.7. <i>Test per distinguere le fibre animali dalle fibre vegetali</i>	p. 40
3.2.8. <i>Test per distinguere fra fibre di lino e di canapa</i>	p. 40
4. I metodi di deacidificazione	p. 42
4.1. La deacidificazione della carta	p. 42
4.1.1. I materiali	p. 43
4.1.2. Le metodologie di applicazione	p. 45
4.1.2.1. La deacidificazione acquosa	p. 45
4.1.2.2. La deacidificazione non acquosa	p. 48
4.2. La deacidificazione dei tessuti	p. 51
SECONDA PARTE	p. 53
1. L'opera	p. 54

1.1. Dati di riferimento	p. 56
2. Scheda della tecnica esecutiva	p. 56
3. Scheda dello stato conservativo	p. 58
4. Precedenti interventi	p. 61
5. Progetto di intervento	p. 64
5.1. Descrizione delle operazioni già eseguite	p. 65
5.1.1. Indagini preliminari	p. 66
5.1.2. Interventi sul supporto	p. 72
5.1.3. Interventi sugli strati pittorici	p. 76
5.1.4. Test di pulitura	p.77
6. Sperimentazione del metodo di deacidificazione	p. 79
6.1. Preparazione della fase sperimentale	p. 79
6.1.1. La pulitura del fronte	p. 79
6.1.2. La pulitura del retro	p. 86
6.1.3. La determinazione dei parametri di controllo: il pH e l'angolo di contatto	p. 87
6.2. Metodi di deacidificazione applicabili: i criteri di scelta	p. 90
6.3. La deacidificazione del supporto tessile	p. 91
7. Discussione dei risultati	p. 96
8. Considerazioni finali	p. 97
9. Gli interventi in progetto	p.98

CONCLUSIONI	p. 100
RINGRAZIAMENTI	p. 102
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	p. 104
APPARATO GRAFICO	p. 108
SCHEDE TECNICHE DEI PRODOTTI USATI	p. 109

INTRODUZIONE



Fra le reazioni chimiche che determinano un cambiamento nella struttura della cellulosa, una delle più energiche e diffuse è quella che porta alla formazione di acidi.

P. Cremonesi

La deacidificazione è quel processo nel quale, mediante l'impiego di soluzioni alcaline, si cerca di ottenere sia la neutralizzazione delle sostanze acide presenti sul materiale da trattare, sia il deposito di una "carica" alcalina che lo preservi contro l'acidità. Se per i manufatti cartacei questo trattamento è ormai una prassi nell'iter di restauro, altrettanto non si può dire delle opere d'arte dipinte su tela che, pur essendo affette da acidità, raramente subiscono un processo deacidificante. La scarsa conoscenza del fenomeno e gli effetti poco visibili sulla tela, al contrario che sulla carta, hanno per secoli ritardato la soluzione allo sviluppo di acidità delle fibre tessili.

Il presente lavoro si propone di indagare i processi di degrado del materiale cellulosico (carta e tessuti di origine vegetale) che portano all'acidificazione del supporto e di descrivere i metodi di deacidificazione esistenti per il trattamento dell'acidità di un'opera di natura cellulosica, suddividendoli in base al tipo di materiale trattato: carta o tessuto.

Nella seconda parte verrà preso in esame un caso concreto: un dipinto a olio su tela, proveniente dal Sottoportego di Corte Nova a Venezia, che presenta un supporto caratterizzato da forte acidità. L'opera verrà descritta nella sua tecnica esecutiva e nel suo stato conservativo. Verranno poi presentati il progetto di intervento e le operazioni cui il manufatto è già stato sottoposto a tutt'oggi.

Infine la parte sperimentale vaglierà le possibili soluzioni al problema dell'acidità del supporto dell'opera presa in esame e darà ragione delle scelte successivamente compiute in fase di trattamento del supporto stesso.

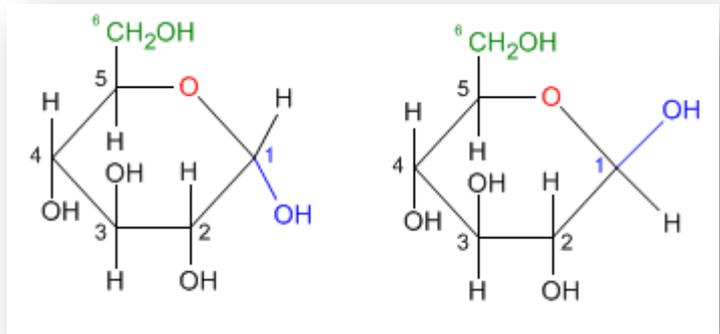
PRIMA PARTE

1. La cellulosa

1.1. Composizione

La cellulosa è un polimero del glucosio, una molecola appartenente alla classe dei carboidrati a sei atomi di carbonio, avente formula molecolare $C_6H_{12}O_6$.

Il glucosio è un composto polare, solubile in acqua e si presenta in natura



sottoforma di due isomeri ciclici definiti α -glucosio o β -glucosio a seconda della posizione dell'ossidrile $-OH$ in posizione 1 (carbonio anomero). L' α -glucosio presenta l'ossidrile in posizione 1 *sotto* il piano dell'anello, il β -glucosio *sopra*.

Figura 1 Immagine tratta di sito internet <http://insight.stefanopaladini.net/it/carboidrati-e-zuccheri-parte-1/>

L'unione per condensazione dei monomeri del β -glucosio in posizione 1-4 forma una catena di cellulosa. La catena si forma grazie alla rotazione sul piano dell'anello di uno dei monomeri in gioco nella reazione: in questo modo l'ossidrile risulta sopra o sotto il piano dell'anello alternatamente.

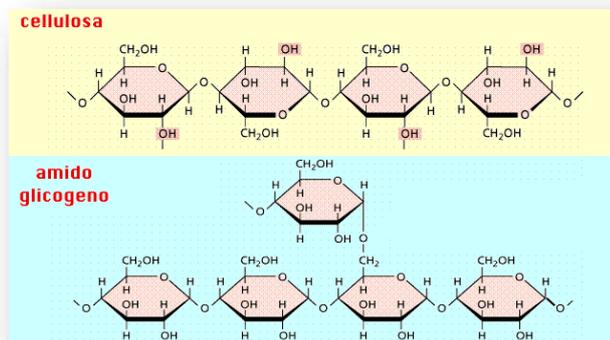


Figura 2 Immagine tratta dal sito http://enicocastello.info/Biologia/Fisiologia%20animale_lper testo/Cap.01/Par.5/polisaccaridi.html

Gli –OH sopra e sotto il piano degli anelli della catena sono in grado di formare legami a idrogeno con gli –OH delle catene adiacenti: in questo modo si forma una struttura cristallina rigida.

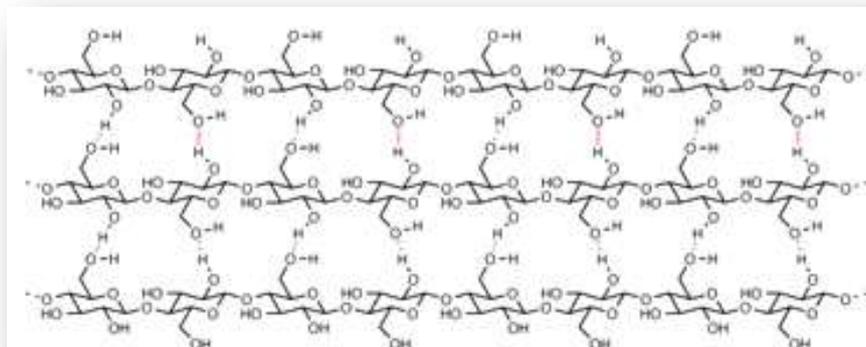


Figura 3 Le catene di cellulosa unite tra loro da legami idrogeno (in rosso). Immagine tratta dal sito <http://www.rsc.org/education/eic/issues/2013March/paper-conservation-cellulose-acid-hydrolysis.asp>

Si definisce *grado di polimerizzazione* (DP) il valore medio del numero di tutte le subunità di glucosio costituenti le varie catene di cellulosa. Il DP può variare da 300 a 4000, a seconda dell'origine della cellulosa e del sistema usato per la sua estrazione dalla pianta: il cotone, ad esempio, ha un DP sopra i 3000 ed è la cellulosa nativa con il numero maggiore di molecola di glucosio¹. Il grado di polimerizzazione determina le caratteristiche meccaniche del materiale.

GRADO DI POLIMERIZZAZIONE ²	
Cotone grezzo	2100
Juta	2200
Canapa	2250
Lino	2400
Linters di Cotone	3000

¹ M. COPEDÈ, *La carta e il suo degrado*, Nardini editore, collana Arte e Restauro-Strumenti, 2005, p.8.

² Dati tratti da *Le fibre cellulosiche*, <http://www.unibg.it/dati/corsi/22037/45733-LA%20CELLULOSA.pdf>

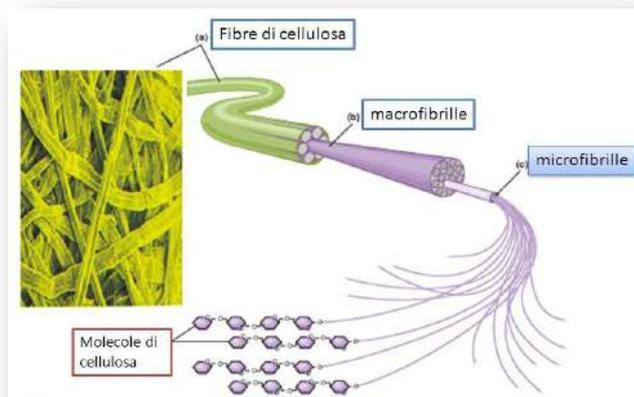


Figura 4 Immagine tratta dal sito <http://slideplayer.it/slide/568946/>

Nella cellulosa esistono zone con struttura geometrica definita (zone cristalline) e zone in cui le macromolecole sono disposte in modo disordinato (zone amorfe), dove le catene non sono saldamente unite da legami idrogeno ma da deboli attrazioni di carica, creando un andamento casuale e disordinato. Queste zone sono maggiormente in grado di legare acqua libera proprio in virtù della presenza di ossidrilici non impegnati in legami forti.

La cellulosa è insolubile nella maggior parte dei solventi organici. E' molto igroscopica, può assorbire grandi quantità di acqua rigonfiandosi ma senza mai disciogliersi completamente.

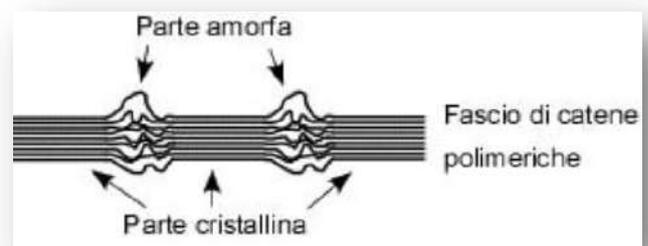


Figura 5 Immagine tratta dal sito <http://www.treccani.it/enciclopedia/cellulosa/>

1.2. Degrado

Il degrado dei materiali contenenti cellulosa è associato alle modificazioni strutturali che il polimero subisce per effetto, principalmente, di due processi: idrolisi e ossidazione.

L'idrolisi può avvenire sia in ambiente acido che basico, provocando la depolimerizzazione della catena per attacco al legame β -glucosidico, mentre le ossidazioni possono procedere con o senza scissione di tale legame, in funzione della posizione di attacco da parte dell'ossidante.

1.2.1. Idrolisi

La cellulosa, come tutti i polisaccaridi, è soggetta a idrolisi, cioè scissione del legame glicosidico tra le varie molecole di monosaccaride, a causa dell'inserimento di molecole di acqua. La conseguenza è la depolimerizzazione della molecola, cioè la formazione di frammenti più piccoli o il totale degrado nelle unità costituenti il glucosio. A tal proposito, è importante osservare che la rottura di un solo legame glicosidico per catena di cellulosa provoca un dimezzamento del grado di polimerizzazione DP. Il processo di idrolisi coinvolge le zone amorfe del substrato celluloso, mentre le zone cristalline oppongono una forte resistenza e richiedono un trattamento molto drastico. Per questo motivo, la degradazione rallenta enormemente al raggiungimento di un valore del DP pari alla lunghezza media delle zone cristalline (circa 100-200), noto come levelling-of DP (LODP)³. Tuttavia, quando la parte amorfa è stata totalmente degradata, la cellulosa risulta molto fragile e il materiale si spezza con facilità.

I fenomeni di idrolisi della cellulosa avvengono in presenza di valori elevati di umidità relativa e sono catalizzati dalla presenza di acidi (cioè sostanze con $\text{pH} < 7$), che possono agire anche a bassa temperatura, o basi (cioè sostanze con $\text{pH} > 7$).

Queste sostanze possono già trovarsi nel materiale (sbiancanti della cellulosa, sostanze di collatura del supporto cartaceo, quali allume e colofonia, inchiostri manoscritti) oppure possono provenire dall'ambiente esterno (le anidridi che si trasformano facilmente in acidi, i derivati dell'ammoniaca ecc).

1.2.1.1. Idrolisi acida

Per azione di acidi minerali forti, la cellulosa si dissolve, subendo idrolisi totale, fino a formazione di glucosio. Con acidi minerali diluiti e con acidi organici l'idrolisi è parziale.

La reazione avviene in due passaggi: l'unione di un idrogeno all'ossigeno del legame glicosidico (protonazione) e successivamente la separazione dei due monomeri per inserimento di una molecola d'acqua.

³ P. F. CALVINI, *La degradazione acida*, Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie chimiche per la Conservazione e il Restauro, Chimica dei Supporti Cartacei, appunti di lezione A. A. 2006-2007.

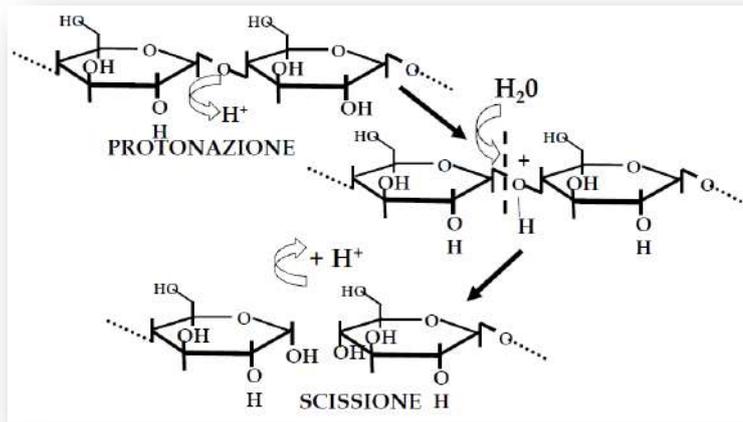


Figura 6 tratta da appunti di lezione di I. Saccani

La velocità di idrolisi è più elevata se la cellulosa è ossidata: i due processi sono correlati tra loro e uno influenza sull'altro.

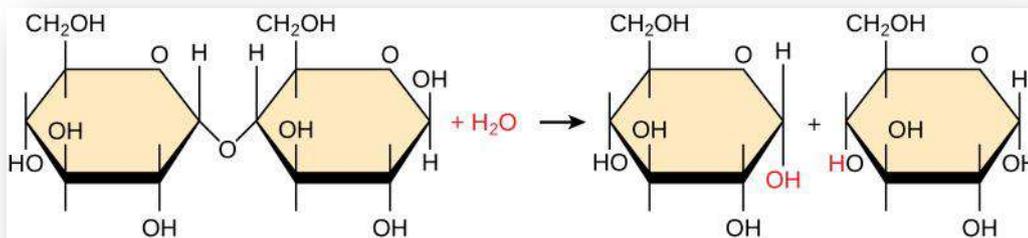


Figura 7 Immagine tratta dal sito internet <https://www.boundless.com/biology/textbooks/boundless-biology-textbook/biological-macromolecules-3/synthesis-of-biological-macromolecules-53/hydrolysis-295-11428/>

1.2.1.2. Idrolisi basica

L'idrolisi basica richiede condizioni drastiche: ambiente fortemente alcalino e temperatura elevata. Nel caso, però, si siano formati, per ossidazione, dei gruppi β -alcoossi-carbonilici ($-RO-C=O$), la reazione avviene rapidamente anche con alcali diluiti e a temperatura ambiente.

Questo può diventare il meccanismo principale di degradazione se si sottopongono cellulose ossidate a deacidificazione molto spinta ($pH > 9-9.5$).

Si può anche presupporre un meccanismo di idrolisi in ambiente basico che implica il distacco di un'unità terminale dal resto della molecola non ossidata ed il cui risultato non è un netto

accorciamento della catena, bensì una graduale erosione (*peeling*) non immediatamente evidenziabile con misure di grado di polimerizzazione.

Con questa erosione compete un più lento riarrangiamento del gruppo terminale, che, ossidatosi a carbossile (-COOH), stabilizza la molecola e la rende non più suscettibile alla degradazione alcalina.

1.2.2. Ossidazione

Le cause e i meccanismi di ossidazione della cellulosa sono complessi da isolare e comprendere a fondo. Normalmente, l'ossidazione non modifica la lunghezza della catena polimerica ma comporta piuttosto la trasformazione di alcuni elementi della catena stessa, che si alterano e diventano chimicamente instabili.

Sono potenzialmente interessati ad un processo ossidativo i gruppi alcolici, primari e secondari, ma è possibile anche la formazione di doppi o tripli legami carbonio-carbonio nell'anello.

Il gruppo alcolico primario dell'unità di anidroglicosio in C6 può essere ossidato ad aldeide (-CHO) e poi ulteriormente a carbossile (-COOH); i gruppi alcolici secondari in C2 e C3 sono ossidabili a chetoni (-CO-). Se entrambi i gruppi sono interessati dall'ossidazione si instaura un equilibrio cheto-enolico.

Questi gruppi aldeidici possono poi reagire con un ossidrile per formare degli emiacetali (-COHO-). In polisaccaridi legati con legame glucosidico 1-4, come la cellulosa, la formazione dell'emiacetale può avvenire intramolecolarmente, con formazione di anelli a cinque o sei termini.

I gruppi terminali riducenti di ciascuna catena, infine, sono ossidabili a carbossili (-COOH).

L'ossidazione della cellulosa, dunque, comporta come conseguenza la formazione di gruppi -COOH acidi che catalizzano il degrado della fibra e di gruppi chetonici (-CO-) che sono invece cromofori, per cui alterano cromaticamente il materiale. Essi poi sono in grado di formare legami idrogeno più deboli dei gruppi ossidrilici da cui derivano e questo può provocare sempre alterazioni strutturali.

Al tempo stesso, questo processo rende la cellulosa maggiormente esposta a idrolisi acida e può, in condizioni particolarmente gravi, modificare i legami a idrogeno tra le catene polimeriche, compromettendo la struttura della fibra.

L'ossidazione può essere indotta dall'esposizione del materiale alle radiazioni elettromagnetiche (in particolare a quelle UV), da inquinanti quali l'ozono e da sostanze chimiche ossidanti introdotte nel supporto (ad esempio ipocloriti impiegati per gli sbiancamenti del materiale cartaceo).

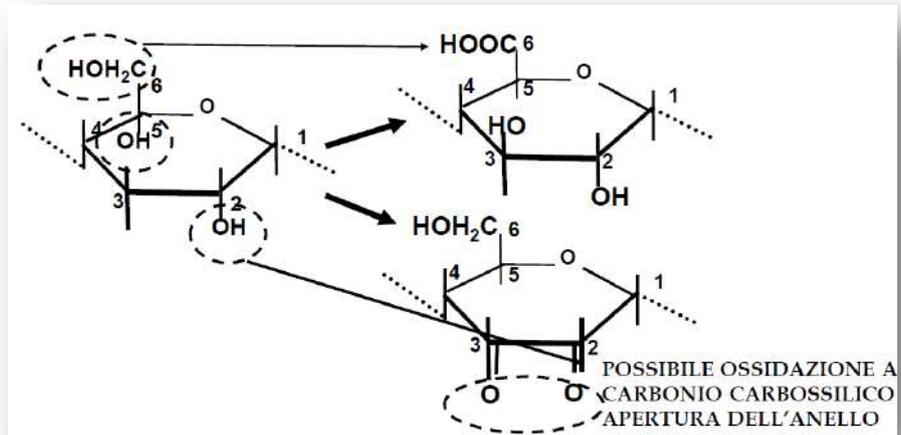


Figura 8 tratta da appunti di lezione di I. Saccani

1.2.3. Autossidazione

L'ossidazione della cellulosa da parte dell'ossigeno molecolare (autossidazione) avviene tipicamente in ambiente basico. Il meccanismo è di tipo radicalico e può essere descritto in termini di:

- reazioni di iniziazione, in cui si formano radicali liberi e radicali perossidici;
- reazioni di propagazione, in cui i radicali liberi vengono convertiti in altri radicali;
- reazioni di terminazione, che coinvolgono la combinazione di due radicali con la formazione di composti stabili.

Il primo passaggio, secondo la letteratura, comporta l'estrazione degli idrogeni legati ai C1 con formazione di radicali. La successiva addizione di ossigeno conduce alla formazione di un radicale perossidico. Questa situazione può condurre alla rottura del legame glucosidico con formazione di un nuovo radicale sulla unità di glucosio adiacente. La reazione è molto lenta, ma è promossa dalla ionizzazione del substrato in ambiente basico ed è catalizzata dai metalli di transizione quali ioni Fe^{2+} e Cu^{2+} .

I gruppi carbonilici che si formano a seguito di queste reazioni radicaliche favoriscono, in ambiente alcalino, la rottura del legame glucosidico.

Se, invece, ci si trova in ambiente acido, i gruppi riducenti della cellulosa possono ridurre il Fe^{3+} , presente nella carta come impurezza o contenuto negli inchiostri, a Fe^{2+} ; contemporaneamente il Fe^{2+} viene ossidato dall'ossigeno atmosferico e forma radicali idroperossidi, i quali a loro volta reagiscono con le molecole di cellulosa formando nuovi radicali^[9].

In ogni caso l'ossidazione, sia essa catalizzata da cationi metallici o non, mostra segni evidenti, a livello macroscopico, come l'indebolimento del materiale e, inoltre, la presenza di legami insaturi (carbonili, doppi o tripli legami) eventualmente coniugati fra loro, modifica l'assorbimento della luce da parte del materiale, provocando quello che viene comunemente detto ingiallimento⁴.

⁴ M. BICCHIERI, *Chimica della cellulosa e metodi di studio della sua indagine*, in *Libri e documenti*, Edizioni della Laguna 2007, pp. 197-218.

2. I materiali cellulosici nell'arte: la carta e i tessuti

2.1. La carta

2.1.1. Breve storia

L'invenzione della carta viene attribuita al cinese Ts'ai Lun, nell'anno 105 d.C. Recenti scavi archeologici hanno però retrodatato l'esistenza di questo materiale ad alcuni secoli prima di Cristo.

Si suppone che all'opera di operai arabi, provenienti dalla Sicilia, sia dovuta la nascita delle prime cartiere a Fabriano, nei primi decenni del XIII secolo. Questa è la città dove si trova documentata la prima fabbricazione della carta con maestranze occidentali⁵.

Gli arabi migliorarono le tecniche, introducendo i magli mossi a mano e sostituendo la materia prima, costituita da gelso ed altri vegetali, con gli stracci. Forse utilizzarono anche direttamente il



Figura 9 Immagine tratta dal sito www.industriadellacarta.it

cotone, pianta da loro ampiamente coltivata e sconosciuta ai cinesi.⁶

Nel 1264 a Fabriano nella prima cartiera europea si cominciò a preparare la pasta utilizzando la **pila idraulica a magli multipli** azionati da un albero a camme collegato ad una ruota idraulica. Più efficienti del mortaio dei cinesi o della mola degli arabi, mossi da

uomini o animali, i magli, lavorando in verticale, sfibrano canapa e lino più velocemente e meglio, riducendo così i costi e migliorando la qualità.

Anche il **telaio** da immergere nel tino cambiò: l'intreccio di cotone, bambù o canne fu sostituito da un intreccio in **ottone**⁷ e rimarrà pressoché invariato fino al XVIII secolo. La **collatura** con amido di

⁵ Il primo documento che ha un rapporto con questa cittadina è un contratto genovese del 1235, tra un mastro cartaio di Fabriano e un lavorante. Altri documenti del 1264, conservati presso l'Archivio Storico di Matelica, trattano di una fornitura di carta bambagina, di provenienza fabrianese, acquistata per uso del notaio comunale.

⁶ M. COPEDE, La carta e il suo degrado, collana Arte e Restauro - Strumenti, Nardini Editore 2001, pp. 9-11.

riso o grano fu cambiata con una a base di **gelatina animale** – il “carniccio” - che migliorò caratteristiche come l'impermeabilità o la resistenza a insetti e microrganismi. La carta italiana, di qualità migliore, più economica e soprattutto cristiana si impose velocemente in tutta Europa.



*Figura 10 Immagine tratta dal sito
<http://www.lamelagrana.it/sito/pagina.aspx?id=94>*

prima molto più ridotta, la collatura della carta era più uniforme. Questa macchina però produceva una carta con fibra più corta, quindi meno resistente.

Nel 1774, grazie alle scoperte del chimico svedese K.W. Scheele, si vide la possibilità di usare **cloro** per sbiancare la carta. Nel 1807 venne introdotto un sistema di collatura in massa con allume e **colofonia**, più economico di quello con gelatina animale, il quale, tuttavia, decuplica l'acidità della carta.

Nel 1844 un tessitore di Heinicken, in Sassonia, di nome Friedrich Gottlob Keller, depositò un brevetto per una pasta preparata dal **legno**. Il tedesco Heinrich Voelter nel 1846 lo migliorò con l'invenzione di un apparecchio per la sfibratura costituito da una grossa mola in gres che sminuzza il legno. Il prodotto ottenuto era mediocre ma adatto ad un utilizzo nascente: la stampa periodica.

⁷ L'avvento del telaio in ottone, ottenuto per intreccio di fili metallici, segnò l'invenzione, nelle cartiere fabrianesi, di un marchio di produzione della carta: la filigrana. La filigrana – detta anche più propriamente marca d'acqua – è un segno (una lettera, il profilo di un oggetto,...) posizionato nel foglio, visibile guardando il foglio controluce. La sua visibilità è dovuta ad un minor spessore della carta; la variazione di spessore si ottiene applicando sulla forma che genera il foglio un filo metallico piegato a formare quel disegno. Quando il mastro cartaio immerge la forma nella sospensione di fibre contenuta nel tino e lo ritrae per formare il foglio, l'acqua sgocciola via rapidamente lasciando le fibre sulla forma; i sapienti e veloci movimenti che il cartaio esercita livellano le fibre in maniera omogenea su tutta la forma meno che nella zona del disegno, ove lo spessore del foglio risulterà inferiore proprio a causa dello spessore del filo. Grazie a questa innovazione, da allora la carta fabrianese venne riconosciuta sui mercati proprio da quei marchi che ogni cartaio inseriva nei fogli che fabbricava.

Lo sfibratore si imporrà solo dopo il 1860, quando ad esso verrà affiancato un altro trattamento: quello chimico. I primi trattamenti furono con soda e potassa a caldo, seguiti da sbianca con cloro e poi, nel corso degli anni, dal bisolfito che opera in ambiente acido.

La carta industriale abbondante e a basso costo diversificò gli utilizzi: nel 1871 la prima carta igienica in rotoli, nel 1906 le prime confezioni del latte in cartone impermeabilizzato, nel 1907 il cartone ondulato e poi giocattoli, elementi d'arredo, isolamenti elettrici.

Con la graduale introduzione della carta economica, giornali, quaderni, romanzi e altra letteratura diventarono alla portata di tutti. La carta offrì la possibilità di scrivere documenti personali e corrispondenza, non più come lusso riservato a pochi.

Con la contemporanea invenzione della penna stilografica, della produzione di massa di matite, del processo di stampa rotativa, la carta ha avuto un peso notevole nell'economia e nella società dei paesi industrializzati.

ADDITIVI DELLA CARTA⁸

Funzione dell'additivo	Additivo	Ricaduta sul degrado
PER LO SBIANCAMENTO	Ipoclorito di Sodio o di Calcio	Insorgenza di acidità
	Idrosolfiti di Sodio o di Zinco →azione riducente Perossido di idrogeno (acqua ossigenata) →azione ossidante	
PER AUMENTARE LA RESISTENZA MECCANICA	sostanze amilacee	Sostanze nutritive per i biodeteriogeni
PER MIGLIORARE L'OPACITA'	ritentivi (per consentire la permanenza di cariche e fibre minute all'interno del feltro fibroso) e pigmenti di carica	-
PER AUMENTARE LA RESISTENZA ALL'UMIDITA'	particolari tipi di resine	-
PER MIGLIORARE LA RESISTENZA A SECCO	amidi e gomme vegetali	Sostanze nutritive per i biodeteriogeni
RITENTIVI degli elementi più minuti dell'impasto	polimeri naturali o sintetici (silice colloidale anionica, poliammide acrilato e bentonite, amido cationico con idrossido di alluminio)	-
COLLANTI per ridurre la penetrazione e l'assorbimento di liquidi	Nell'impasto: colofonia con aggiunta di agenti precipitanti e ritentivi, emulsioni a base di resine acriliche e poliuretaniche, emulsioni di cere microcristalline, prodotti fluorochimici e amidi modificati. Sulla superficie: alcool polivinilico, carbossimetilcellulosa (CMC), metilcellulosa (MC).	Insorgenza di acidità
CARICHE	Naturali: caolino, carbonato di Calcio, talco, solfato di Bario e di Calcio. Sintetiche: biossido di Titanio, il silicato di Calcio e Alluminio, il solfato di Bario e Calcio.	-

⁸ M. F. PICASSO, *La carta: bianca e materiali di processo*, 22-11-2011. Dal sito internet http://www.metaprintart.info/formazione/tecniche-di-stampa-formazione/461-corso_di_stampa_la_carta_iv_sbianca_e_materiali_di_processo/ (ultimo accesso 02-06-2015)

2.1.2. Fabbricazione

Come viene fabbricata la carta? Il processo è differente, a seconda che si tratti di carta vergata, la carta antica ricavata dalla pasta di stracci, oppure di carta liscia, moderna, derivata dalla lavorazione della pasta di legno.

2.1.2.1. La carta vergata⁹

Il procedimento di fabbricazione della carta nel Medioevo avveniva in due fasi: in primo luogo, bisognava dissociare le fibre vegetali di cui era fatto il tessuto. In seguito, queste fibre, trasformate in polpa e sciolte nell'acqua, venivano nuovamente aggregate per formare una nuova superficie.

Nel Medioevo, la materia prima per la fabbricazione della carta erano gli stracci o i resti di tessuti di lino o di canapa (per la carta di mediocre qualità). Gli straccivendoli selezionavano la merce in funzione dei diversi gradi di candore. Con gli stracci "bianchi" si fabbricava la "carta da scrivere", mentre gli stracci "neri" producevano la carta da imballaggio.

Una volta che gli stracci erano stati raccolti, selezionati e messi a macerare per allentare le fibre del tessuto, il processo poteva proseguire grazie a dei macchinari (pile), azionati dalla ruota del mulino, che riducevano gli stracci in poltiglia.

Per poter dare avvio alla seconda fase e fabbricare la carta a partire dalla polpa così ottenuta, era necessario disporre di una **forma**, costituita fondamentalmente da una cornice di legno attraversata da una trama di fili metallici. Quest'ultima era composta da un gran numero di **vergelle orizzontali**, fitte e parallele, e da **filoni ad esse perpendicolari**. La trama era così fitta che, quando con la forma si attingeva la polpa dalla tina, mentre l'acqua defluiva, un sottile strato di fibre si depositava sui fili metallici.

Nello spazio sovrastante le vergelle, la quantità di polpa era necessariamente minore rispetto a quella che si depositava negli spazi liberi. Lo stesso fenomeno si produceva in corrispondenza delle filigrane metalliche attaccate all'interno della forma. Entrambi i fenomeni davano luogo ad impronte dovute al rarefarsi della polpa.

⁹ P. RÜCKERT, a cura di, *La memoria della carta e delle filigrane dal Medioevo al Seicento*, testo di accompagnamento e catalogo della mostra organizzata dal Landesarchiv Baden-Württemberg, Hauptstaatsarchiv di Stoccarda e dalla Österreichische Akademie der Wissenschaften di Vienna, Kommission für Schrift- und Buchwesen des Mittelalters, Stuttgart 2007.

Tuttavia, per essere precisi, bisogna parlare di due tipi di impronta: da un lato quella dei filoni e delle vergelle, caratteristica inevitabile della carta artigianale perché “dovuta a motivi tecnici”, e dall’altro quella della **filigrana**, deliberatamente apposta sulla forma dal cartai.

Quando la forma veniva sollevata dalla tina, l’acqua defluiva attraverso gli interstizi della trama, mentre le fibre restavano sulla forma e formavano così una superficie piana, attraverso la quale era visibile l’impronta dei filoni e delle vergelle.

Il procedimento era svolto in generale da due operai (“lavorenti”), che lavoravano “a ciclo continuo” impiegando due forme: il “levatore” aveva il compito di immergere la prima forma nella polpa e poi di agitarla con movimenti regolari, in modo che le fibre si distribuissero uniformemente. Mentre il levatore si apprestava a ripetere la stessa operazione con la seconda forma, il “ponitore” prendeva quella che conteneva il foglio di carta appena formato e la rovesciava su un rettangolo di feltro appositamente predisposto. Il foglio di carta ancora bagnato veniva poi ricoperto a sua volta da un feltro, il che impediva che il foglio successivo rimanesse incollato al precedente. Dato che, per incrementare l’efficienza del procedimento, il lavoro veniva effettuato con una coppia di forme, anche le filigrane erano due, collocate rispettivamente sulla metà sinistra e destra della forma.

Non appena si era costituita una “posta” abbastanza alta di fogli e rettangoli di feltro, si procedeva ad una prima **pressatura**. In questo modo la carta cominciava a diventare più leggera (pur pesando circa il doppio di quella asciutta). In seguito, per completare l’asciugatura, i fogli venivano portati nell’**essiccatoio**, ove venivano stesi su delle corde.

Nell’ultima fase della lavorazione, si procedeva all’operazione essenziale della “**collatura**”, necessaria per dare ai fogli un minimo di consistenza e, soprattutto, per impedire che l’inchiostro sbavasse sulla pagina. Infine, i fogli venivano lisciati e imballati per il trasporto.

2.1.2.2 La carta liscia

Dalla seconda metà del XIX secolo, per la stampa dei libri inizia a diffondersi l'uso della carta liscia, derivata dalla lavorazione della pasta di legno, che differisce dalla carta vergata perché priva dei segni in controluce di filoni e vergelle.

Per il modo in cui è ottenuta, la carta di pasta di legno è suddivisa in *pasta meccanica*, *pasta chimica* e *pasta semi-chimica (o chemi-meccanica)*.¹⁰

Pasta meccanica

La carta di pasta meccanica non comporta trattamento chimico, ma solo meccanico: il legno, privato della corteccia e dei nodi, viene sfibrato con mole rotanti immerse in acqua calda. La pasta così ottenuta mantiene tutte le sostanze incrostanti presenti nel legno insieme alla cellulosa. Possiede fibre con bassa resistenza meccanica, ha una opacità alta ed è poco costosa. Di conseguenza viene usata per prodotti cartacei di bassa qualità, soprattutto cartoni e cartoncini. Per l'utilizzo nella carta stampata, comunque di bassa qualità, come ad esempio nella carta da giornali, deve essere addizionata al 20-40% di pasta chimica.

Pasta chimica

Il legno stagionato, decortificato e spezzettato meccanicamente, viene trattato chimicamente con reagenti acidi o basici, solitamente ad alta temperatura e pressione in autoclave, per solubilizzare e dunque rimuovere le sostanze incrostanti, lasciando le fibre cellulosiche più o meno pure, a seconda del trattamento specifico. Nella pratica, però, non si arriva mai ad una totale eliminazione delle sostanze estranee, ciò comporterebbe una perdita troppo elevata della cellulosa e una sua eccessiva degradazione. I reagenti più spesso utilizzati sono i Bisolfiti di Calcio, Magnesio, Ammonio, oppure il Solfato di Sodio o la Calce. Il primo processo è noto come processo al Solfito, il secondo come processo al Solfato o processo *Kraft*, ed è il più utilizzato per i legni resinosi. Queste sostanze vengono fatte penetrare all'interno del materiale vegetale, in maniera rapida e uniforme, per solubilizzare le sostanze incrostanti. A questi trattamenti seguono dei processi di sbianca con ossidanti chimici come Cloro a Anidride Solforosa.

¹⁰ G. BANIK, P. CREMONESI, A. DE LA CHAPELLE, L. MONTALBANO, *Nuove metodologie nel restauro del materiale cartaceo*, collana I talenti, ed. Il Prato, 2003, pp. 14-15.

Pasta semi-chimica (o chemi-meccanica)

La pasta di questo tipo è preparata da una combinazione di processi meccanici e chimici e viene classificata chemi-meccanica o semi-chimica a seconda che prevalgano i primi o i secondi. Il legno, decortificato e spezzettato, viene trattato con reagenti chimici a caldo (soprattutto Solfato di Sodio, Carbonato di Sodio e Calce) per indebolire la coesione fra le fibre cellulosiche; poi si esegue la sfibratura meccanica. In questo modo si elimina gran parte delle lignine, ma non le emicellulose. Questo tipo di pasta viene utilizzato per preparare carta da giornali, carte da stampa e da scrittura.

2.1.3 Degrado del materiale cartaceo

La necessità di incrementare la produzione di carta ha fatto sì che si sviluppassero macchinari e tecniche per renderne più celere la preparazione, cosicché quello che in origine era un prodotto di eccellente qualità, preparato con fibre lunghe di cellulosa – ricavate quasi sempre da tessuti, cordami e abiti già utilizzati, prevalentemente di canapa e di lino – e incollato con colla proteica, cambiò gradualmente le proprie caratteristiche. La preparazione della polpa fu accelerata con l'introduzione della macchina olandese, che riduceva gli stracci in poltiglia con un impianto metallico. In seguito, già nel XVIII secolo, con l'aumentata disponibilità di stracci utilizzabili come materia prima, furono introdotti sbiancanti a base di cloro.

Infine, nel XIX secolo, con la diffusione della collatura ad allume e colofonia e l'introduzione delle prime paste prodotte dalla lavorazione e dallo spappolamento del legno, e non più delle fibre tessili, la qualità del prodotto divenne sempre più scadente e la carta prodotta tendeva con estrema facilità ad ingiallire e a diventare fragile, a causa della maggiore quantità di lignina.

Oltre a questi difetti "intrinseci" della fabbricazione della carta, possiamo ricordare ulteriori fattori di deterioramento:

- danni fisici, strappi, usura;
- i raggi ultravioletti (es. luce solare, bulbi fluorescenti) che provocano l'ossidazione¹¹ della cellulosa;
- polvere, che crea un ambiente accogliente per insetti e batteri;
- umidità, che favorisce lo sviluppo di funghi;
- inquinanti aggressivi, tra cui a volte gli stessi inchiostri chimicamente instabili ed i depositi lasciati dalle dita dei fruitori;
- animali (es. topi) ed insetti (es. tarli, termiti, pesciolini d'argento-) che si nutrono di carta;
- batteri, funghi e muffe.
- processi di ossidazione degli accumuli di materiali metallici (soprattutto ferro, ma anche rame) già presenti nel materiale cartaceo. A tali processi è probabilmente riconducibile la formazione di macchie pigmentate bruno-rossastre, note sotto il nome di foxing.

¹¹ Vedi paragrafo 1.2.2 del presente testo.

I fattori fisici qui elencati sono contrastabili solo in parte: il controllo delle condizioni termoigrometriche dell'ambiente conservativo, mantenendo costanti i valori di umidità relativa e temperatura, permette la tutela delle opere, preservandole dall'attacco biologico. Contro i raggi ultravioletti e la presenza di pulviscolo atmosferico, è auspicabile il mantenimento al buio delle opere e una sollecita manutenzione periodica. I processi di invecchiamento e deterioramento dovuto a materiali di costituzione della carta, invece, non sono arrestabili né prevenibili. Sono però contrastabili mediante rallentamento se, in fase di restauro, il materiale è sottoposto a lavaggio in acqua e successivo trattamento deacidificante, nel caso in cui le condizioni conservative del materiale lo consentano.

2.2 I tessuti

2.2.1 Breve storia

L'uso della pittura su tela è antichissimo, basti pensare ai ritratti egiziani del Fayoum o ritratti di mummie databili tra I e III secolo d.C., tele di lino dipinte a tempera o ad encausto, applicate su un supporto ligneo.

Si hanno notizie dell'impiego di tele anche nella pittura romana, ma è soprattutto dal periodo bizantino che le tele furono usate con grande frequenza nella preparazione delle tavole (incamottatura).

Per tutto il Medioevo, fatta eccezione per gli stendardi da processione usati a partire dalla seconda metà del '200 sino al '500 come insegne delle varie Confraternite, la tela non fu in genere impiegata come supporto pittorico indipendente ma come parte integrante della preparazione dei pannelli.

E' solo a partire dal Rinascimento che in pittura vengono usate le prime tele libere, in cui la tela non è più incollata ad una tavola ma sostenuta da un apposito telaio ligneo.

La fibra più comune nelle prime tele è quella di lino e la più pregiata è la *tela rensa*, cioè un sottile tessuto di lino, prodotto a Reims, sottoposto a processi di imbianchimento per eliminare il colore naturale della fibra.

E' nella Venezia della seconda metà del '400 che la diffusione di questo supporto diventa assoluta e rapidissima, favorita soprattutto dalla fiorente produzione tessile. Il grande sviluppo della pittura su tela a Venezia è motivato dalla constatazione dell'inadeguatezza del clima lagunare, umido e salmastro, per la conservazione di affreschi. Al contrario, le tele montate su un telaio costituivano una superficie separata dalla parete e quindi meno soggetta ai danni indotti dall'assorbimento dell'umidità per risalita capillare delle murature.

Inoltre i *teleri*, formati dalla giunzione di tele di diversa dimensione sempre montate su un telaio ligneo, consentivano la decorazione di vaste superfici garantendo una maggiore leggerezza e, di conseguenza, facilità di spostamento di grandi pitture, rispetto ai dipinti su tavola.

Il lino rimase la fibra più comune anche nei supporti tessili della Venezia del '400-'500, in quanto le sue buone proprietà meccaniche (deboli variazioni di lunghezza e graduali movimenti delle sue

fibre in relazione alle variazioni termoigrometriche) ne facevano un ottimo supporto anche nelle condizioni ambientali della laguna.

A differenza della tela di tipo rensa, il lino era lasciato allo stato grezzo per consentire una migliore adesione degli strati sovrastanti e per conservarne la robustezza altrimenti indebolita dalle operazioni di sbiancamento; occasionale fu la produzione di supporti di canapa mista a cotone.

Ciò che varia nel tempo nei supporti di lino è la struttura e tessitura. Infatti i primi supporti erano tessuti in maniera serrata, ordinata e regolare, con un filato leggero e sottile. La semplicità dell'intreccio e la sottigliezza di queste tele rispondevano alle esigenze di una tecnica pittorica caratterizzata da una stesura dettagliata del colore e da uno strato pittorico sottile. Verso la metà del '500, le innovazioni tecniche e nuove forme espressive da parte dei pittori portarono all'uso delle nuove armature diagonali e a spina di pesce che, avendo una superficie più robusta e scabrosa, ma anche elastica, meglio si prestavano ad un tipo di pittura a pennellate dense ed irregolari.

Il diffondersi della pittura su tela aprì il campo a nuove sperimentazioni riguardanti la scelta dei possibili tessuti utilizzabili come supporti pittorici: vennero così usati damascati di seta, tovagliati a losanghe o a righe e tele d'argento.

Nel '600 l'esigenza di avere una superficie scabra e più adatta ad una pittura veloce e corposa, ma soprattutto la necessità di far fronte ad una maggiore richiesta di tele quali supporto pittorico, determinò la realizzazione di tele più economiche e meno accurate nella lavorazione, caratterizzate da una grana grossa e da una trama larga; il principale centro di produzione fu Napoli.

Il lino venne sostituito dalla canapa e questa rimase la fibra più usata nel tempo in quanto il cotone era troppo sensibile all'umidità, la lana fortemente igroscopica e la seta troppo fragile polverizzava a contatto con gli oli siccativi.

Nella seconda metà del '700 ricompaiono tele di qualità più fine, con tessitura più fitta e realizzate in lino e canapa.

Nell' '800 la produzione industriale diviene prevalente rispetto a quella artigianale e le tele sono a volte estremamente sottili e a trama molto stretta; vengono introdotti nuovi filati come tele di cotone olona ed in via sperimentale fibre di juta, lana e cocco.

2.2.2 Caratteristiche strutturali e meccaniche¹²

Il comportamento della tela/supporto nel tempo è determinato dalle sue caratteristiche strutturali e meccaniche.

I parametri strutturali sono:

- Armatura: definisce il tipo di intreccio tra i fili della trama e dell'ordito, ad esempio

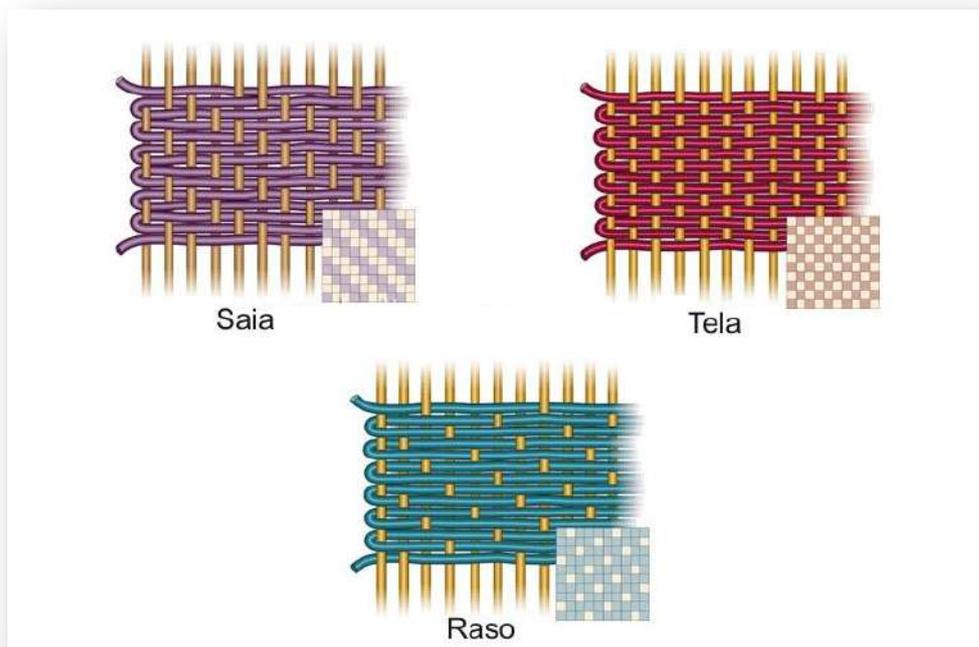


Figura 11 Immagine tratta dal sito http://www.quasimodonline.altervista.org/Tecnologia/fibre_tessili.html

- Peso o grammatura: indica la pesantezza del tessuto e viene riferito al metro quadro;
- Riduzione: indica la fittezza del tessuto ed è data dal numero di fili al cm nei sensi della trama e dell'ordito;
- Densità: rappresenta la fittezza globale del tessuto ed è data dal prodotto del numero di fili/cm nelle due direzioni;

¹² C. QUAGLIARINI, *Manuale di merceologia tessile*, edizione Zanichelli 1992, pagg. 60-62.

- **Titolo filato:** indica le dimensioni del filato ed è dato dal suo rapporto lunghezza/peso. L'unità di misura sono i denari o tex;
- **Torsione:** è l'indice di coesione fra le fibre che costituiscono il filato ed è responsabile della sua resistenza a trazione. La torsione può essere singola (se ad un solo capo) o ritorta (se a più capi) e si riferisce al metro.

I parametri meccanici, da cui dipende il comportamento del supporto quando è sottoposto a sollecitazioni di trazione dovute all'uso, sono:

- **Igroscopicità:** è la capacità della fibra di assorbire umidità dall'ambiente. Essa è legata alla composizione chimica e alla struttura della fibra. L'igroscopicità è favorita dalla presenza di gruppi polari, quali ossidrili (-OH), carbonili (C=O), carbossili (-COOH) e zone amorfe. L'igroscopicità di una fibra si misura in base alla percentuale massima di acqua che la fibra può assorbire senza apparire bagnata.

- **Tenacità:** indica il carico in grammi necessario a rompere un filo di finezza standard, cioè con titolo uguale a un den.

Nella pratica si misura il carico di rottura a trazione e si dividono i grammi ottenuti per il titolo (g/den). La tenacità dipende dall'orientamento molecolare e dalla "cristallinità" della fibra; essa aumenta passando dalla lana alla seta e dal cotone al lino.

- **Allungamento a rottura:** esprime l'allungamento percentuale subito dal filo prima di rompersi.

Si sottopone il filo a trazione e si misura con un'apposita macchina l'allungamento massimo prima che il filo si rompa. Si imposta poi la seguente proporzione:

$$\text{lunghezza iniziale} : 100 = \text{allungamento a rottura} : x$$

e si ottiene così l'allungamento percentuale.

Questo si può riportare in grafico rispetto alla tenacità così da ottenere le curve carico-allungamento.

Fibra tessile	Tenacità (g/den)		Allungamento a rottura (%)	
	Condizionata	Ad umido	Condizionata	Ad umido
Cotone	2.0-5.4	2.7-7.0	3-7	4-8
Lino	5.0-6.0	5.4-7.4	2-3	2.4-4
Canapa	5.5-7.2	6.1-8.2	2-5	3-6
Seta	2.7-5.4	2.4-4.8	13-25	15-30

- **Resilienza:** è la capacità di una fibra tessile di deformarsi senza subire un cambiamento dimensionale permanente. Si sottopone la fibra tessile per un dato periodo ad una pressione costante; poi dal rapporto tra l'altezza finale e quella iniziale, per cento, si ottiene la resilienza.
- **Elasticità:** è la capacità della fibra a lasciarsi deformare in modo reversibile. L'elasticità a torsione è l'attitudine che ha la fibra ad essere filata; l'elasticità a flessione indica la resistenza all'usura; l'elasticità a trazione indica il recupero elastico della fibra; l'elasticità a compressione indica le caratteristiche antipiega della fibra tessile. Tutti questi saggi meccanici vengono effettuati con speciali dinamometri automatici.
- **Curva carico/allungamento o diagramma sforzo/deformazione:** descrive graficamente il comportamento della tela durante la prova a trazione e consente di dedurre tutti i parametri meccanici sopra indicati.

La determinazione delle proprietà meccaniche viene effettuata in ambiente controllato (T=20°C; UR=65%) per via dinamometrica, sottoponendo a sollecitazioni statiche (cioè variazioni lente del carico applicato) strisce di tela campione larghe 1cm e tagliate sia nel senso dell'ordito che in quello della trama.

2.2.3 Degrado delle fibre tessili¹³

Il deterioramento delle fibre tessili è imputabile a fattori fisici (umidità relativa, temperatura e luce), fattori chimici (acidi, basi, agenti ossidanti), fattori biologici (microrganismi ed insetti) e stress meccanici (trazione, flessione, compressione e torsione).

Fattori fisici

Variazioni di Umidità Relativa (U.R.), in particolare se brusche, possono indurre variazioni dimensionali nelle fibre con conseguenti modificazioni delle proprietà meccaniche che, a lungo andare, possono causare l'indebolimento delle fibre stesse.

Aumenti della Temperatura (T) accelerano le reazioni chimiche e fotochimiche responsabili del degrado.

Per quando riguarda la luce, si consiglia di evitare l'esposizione soprattutto alle radiazioni UV e IR; i raggi UV provocano la rottura dei legami chimici ed innescano reazioni fotochimiche che danno luogo a specie radicaliche assai reattive. Con la rottura dei legami chimici le catene delle fibre si accorciano e divengono più deboli.

Il tempo di esposizione, la quantità di luce, la composizione spettrale, insieme allo stato di degrado del materiale, alla quantità di ossigeno presente (che può dar luogo a reazioni di fotossidazione) e all'U.R., sono fattori fondamentali per il deterioramento della fibra tessile.

Fattori chimici

Molte sono le reazioni chimiche a cui vengono sottoposte le fibre tessili. In generale, maggiore è l'eterogeneità del materiale e maggiore è la reattività chimica e dunque il degrado. In questo senso le fibre cellulosiche sono meno reattive di quelle proteiche e quelle già degradate sono più reattive di quelle meno danneggiate; anche il carattere più amorfo di alcune fibre aumenta il rischio di deterioramento per la maggiore facilità di penetrazione di agenti chimici.

Tra le specie chimiche che possono creare danni, fino ad arrivare a sciogliere le fibre tessili, ci sono sia gli acidi che le basi, anche se le fibre proteiche possono tollerare ambienti leggermente acidi e quelle cellulosiche ambienti debolmente alcalini.

¹³ M. P. SAMMARTINO, G. FAVERO, G. VISCO, *I supporti artistici in tela: studio delle caratteristiche chimico-strutturali-meccaniche e metodi di riconoscimento delle fibre*, Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Corso di Laurea Specialistica in Scienze Applicate ai Beni Culturali ed alla Diagnostica per la loro Conservazione, Indirizzo delle Metodologie Chimiche, A.A. 2004-2005, pagg. 33-34.

Le fibre cellulosiche danno idrolisi in ambiente acido con formazione di idrocellulosa ed interruzione della catena molecolare, per cui la fibra si indebolisce e frammenta; anche in ambiente ossidante tale fibra si indebolisce per formazione di ossicellulosa in cui sono presenti gruppi aldeidici e carbossilici.

Le fibre proteiche danno luogo a reazione di idrolisi in ambiente basico per distruzione dei legami disolfuro (nella lana), dei legami idrogeno e dei ponti salini. Inoltre gli acidi attaccano i legami peptidici con conseguente rigonfiamento ed indebolimento della fibra, rigonfiamento che è prodotto anche da soluzioni idroalcoliche.

Fattori biologici

I microrganismi che più comunemente attaccano le fibre tessili sono i funghi, i batteri e gli attinomiceti, tutti eterotrofi ed in grado di metabolizzare le sostanze organiche presenti nel substrato. I funghi decompongono le fibre cellulosiche producendo enzimi (in grado di idrolizzare la cellulosa) e metaboliti acidi che pure indeboliscono e degradano le fibre. Batteri ed attinomiceti possono insediarsi da soli o sui funghi dando effetti analoghi a questi ultimi.

Alti valori di U.R. e T (U.R. > 60%, T > 25°C), la presenza di acqua liquida nel substrato di crescita e un pH ottimale (5.4-6.8 per i funghi; 7.5-8.5 per i batteri; 4.8-7.8 per gli attinomiceti) favoriscono l'attacco microbico ed i processi biologici dei microrganismi.

Al contrario dei microrganismi, gli insetti agiscono meglio in ambiente secco; sia le larve che gli insetti adulti possono causare danni alle fibre. Per prevenire tali danni bisogna conservare il bene in condizione di bassi valori di Umidità Relativa e Temperatura.

Stress meccanici

Bisogna fare molta attenzione a questo tipo di stress, nel caso di lana e seta ancora di più se la fibra è bagnata perché diminuisce la tenacità. Inoltre il lino e la seta sono fibre poco flessibili, mentre la seta è molto plastica e dunque facilmente deformabile; il lino e cotone sono poco elastici.

3. Il riconoscimento delle fibre tessili¹⁴

Le fibre tessili possono essere di origine naturale, artificiale o sintetica.

Le fibre naturali sono strutture biologiche allungate, lavorabili in modo da produrre tessuti. A seconda della derivazione, si possono distinguere le fibre naturali vegetali, animali o minerali.

Le fibre naturali vegetali sono caratterizzate da molecole di cellulosa:

- Cellulosa pura: cotone
- Cellulosa mista a lignina, pectina ed emicellulose: lino, canapa, juta.

Le fibre naturali animali sono caratterizzate da molecole di tipo proteico:

- Cheratina: fibre di velli di ovini e camelidi, provenienti dal bulbo pilifero dell'animale (lana)
- Fibroina: filamenti secreti dagli animali serigeni¹⁵ (seta).

Le fibre artificiali si distinguono a seconda della provenienza della sostanza da cui derivano:

- Di origine animale: proteine del latte, come la caseina
- Di origine vegetale: proteine estratte da sostanze di origine vegetale, quali semi vari o da cellulosa trattata. Inoltre derivate dall'acido alginico presente nelle alghe e dalle gomme naturali ottenute dal lattice.
- Di origine minerale: fibre di vetro e fibre metalliche.

Le fibre sintetiche vengono definite e classificate a seconda della natura chimica a cui appartiene il polimero di partenza: poliacriliche, poliammidiche, poliesteri ecc..

¹⁴ J. H. STONER, R. RUSHFIELD, *The conservation of easel paintings*, Routledge London and New York, 2012, pagg. 321-324. Traduzione propria.

¹⁵ Che secernono la bava.

3.1. Riconoscimento al microscopio ottico

L'osservazione al microscopio ottico è molto utile poiché consente sia il riconoscimento delle fibre sulla base della loro morfologia, sia di esaminare le caratteristiche strutturali del tessuto (spessore dei filati, tipo di armatura, titolo, presenza di sostanze incrostanti come la lignina), sia di evidenziare forme di alterazione e/o segnali indicativi di attacchi biologici (ife fungine, spore o altri microrganismi).

Per la determinazione delle fibre vegetali è necessario osservare e registrare i parametri morfometrici principali, come la forma e dimensione delle terminazioni, il diametro della fibra, della parete e del lume, la tipologia delle striature longitudinali e trasversali.

La fibra di cotone (Gossypium barbadense)

Il colore della fibra varia dal bianco, al giallo al bruno rossastro a seconda della varietà, così come la lunghezza varia dai 10 ai 60 mm a seconda della provenienza. La fibra è monocellulare, nastroforme con circonvoluzioni a spirale e con 2 terminazioni: una a spatola e l'altra strappata e sfibrata.

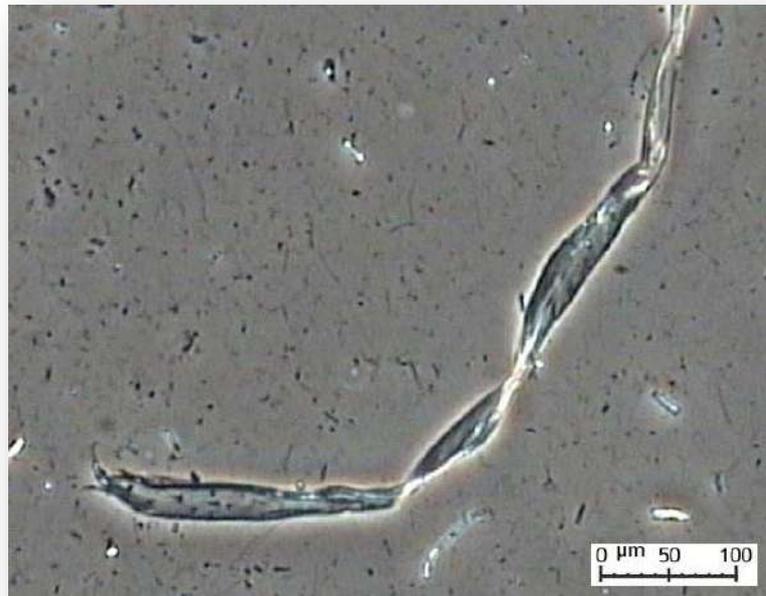


Figura 12 Immagine gentilmente concessa dal Laboratorio Scientifico EcoRicerche s.r.l. - Ingrandimento 100X

La fibra di lino (Linum usitatissimum)

La fibra è di colore bianco o giallognolo o grigio a seconda della provenienza, dei sistemi di macerazione e degli altri trattamenti subiti. All'esame microscopico il lino grezzo si presenta costituito da lunghi filamenti formati da fasci di fibre aggregate, ognuna con una lunghezza che varia tra i 6 e 50 mm e un diametro compreso tra i 10 e 40 μm . Queste fibre, come nel cotone, hanno una parete cellulare composta da 3 strati con struttura fibrillare a spirale e un lume

pronunciato; ma diversamente da quelle del cotone appaiono raccolte insieme con sostanze incrostanti, residui legnosi, membrane parzialmente lignificate ed impurità varie.

All'esame microscopico invece il lino appare formato da fibre isolate e libere da impurità di lignocellulosa. Le singole fibre sono sottili, uniformi e quasi trasparenti; hanno una forma cilindrica con un sottile canale centrale e terminanti con una punta acuta, diversamente da quella arrotondata della canapa.

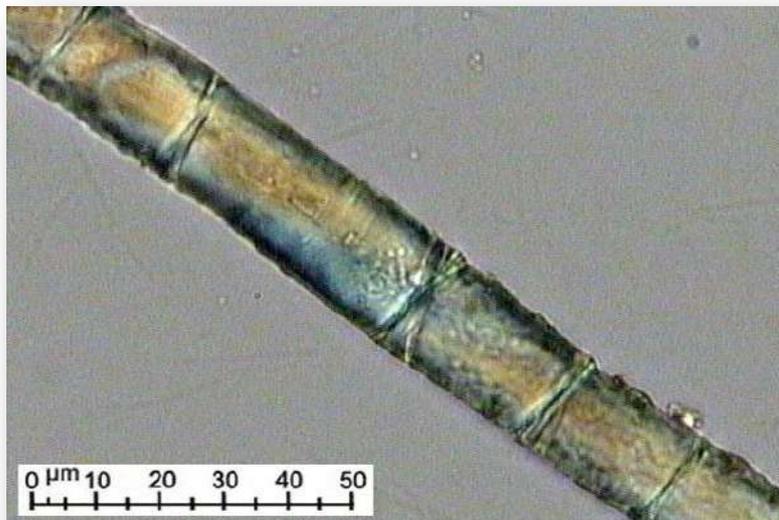


Figura 13 Immagine gentilmente concessa dal Laboratorio Scientifico EcoRicerche s.r.l. - Ingrandimento 400X in campo chiaro

Osservate longitudinalmente, le fibre presentano marcate striature trasversali che si incrociano obliquamente ad X e presentano un lieve rigonfiamento a distanza quasi regolare.

La fibra di canapa (Cannabis sativa)

Il colore va dal bianco avorio al beige; le fibre di canapa, più difficilmente isolabili rispetto a quelle di lino, appaiono riunite in fasci lunghi dai 30 ai 70 mm, ricoperte nella canapa grezza da materiale incrostante. Le singole fibre sono lunghe dai 15 ai 50 mm, hanno un diametro che varia tra i 15 ed i 35 μm ; all'esame microscopico appaiono cilindriche e leggermente appiattite, con striature longitudinali e qualche stria trasversale irregolare, che come nel lino sono spesso incrociate tra loro ad X ma prive di ingrossamenti.

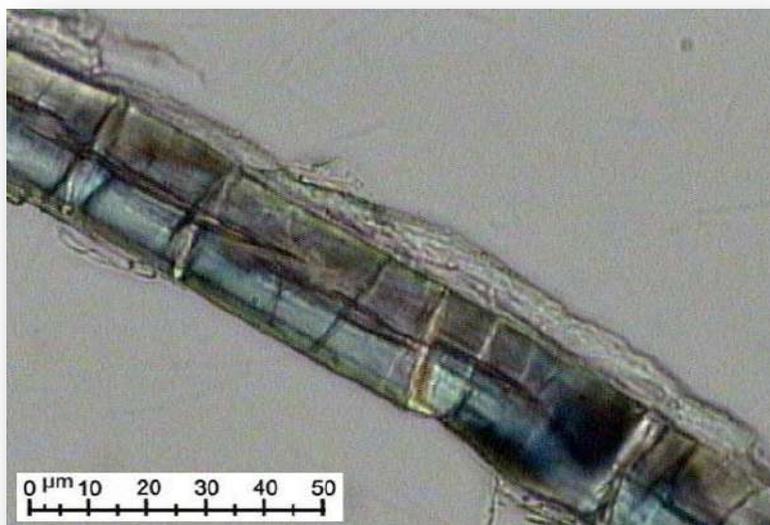


Figura 14 Immagine gentilmente concessa dal Laboratorio Scientifico EcoRicerche s.r.l. - Ingrandimento 400X luce polarizzata

Le sezioni trasversali mostrano pareti con uno spessore e contorno irregolare, mentre nella parte mediana un lume piuttosto ampio e stellare che tende ad assottigliarsi verso l'estremità; la terminazione è a spatola e non appuntita come nel lino.

Una distinzione tra lino e canapa al microscopio ottico è difficile poiché le due fibre presentano una morfologia simile: la canapa ha una forma della fibra più irregolare, più schiacciata e con più nodi, inoltre la cuticola è meno trasparente di quella del lino e la terminazione non è appuntita ma arrotondata.

La fibra di juta (Corchorus capsularis)

Il colore della fibra di juta varia dal giallo al bruno al grigio. I fasci di fibre comprendono 25-50 filamenti, difficili da separare in quanto uniti da lignina e altro materiale intercellulare: al microscopio sono perciò spesso osservate ancora in fascio. La lunghezza della fibra è compresa tra 1 e 7 mm, mentre la larghezza si aggira intorno ai 17-

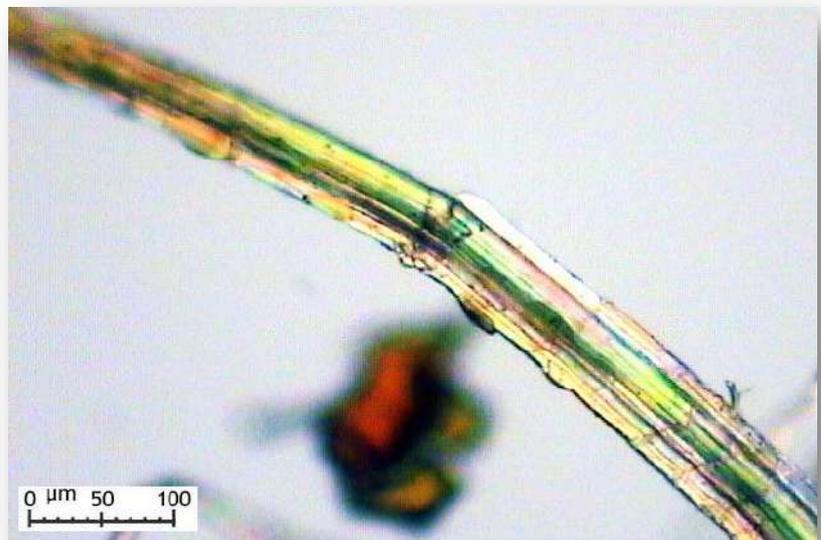


Figura 15 Immagine gentilmente concessa dal Laboratorio Scientifico EcoRicerche s.r.l - Ingrandimento 100X

18 μm . La terminazione della fibre varia: può presentarsi un forma appuntita o biforcata; a causa della sua breve lunghezza, è comune osservare al microscopio entrambe le estremità della fibra. Osservata longitudinalmente, essa presenta restringimenti non frequenti e occasionali segni trasversali.

La seta (Bombyx mori)

La seta è prodotta dal baco da seta in una ghiandola interna a due canali e poi estrusa attraverso la bocca del baco come un filamento doppio e continuo di fibroina cementati insieme e ricoperti da un'altra proteina, la sericina. La seta è filata dai filamenti provenienti da diversi bozzoli, a formare

una fibra composta da 5-10 paia di filamenti. Esaminandole al microscopio, le fibre di seta appaiono di spessore irregolare e di forma ellittica se osservate in sezione trasversale, con due fibre triangolari agli apici unite e ricoperte esternamente da sericina. Rimuovendo questa “pellicola”, ciascuna fibra risulta trasparente, liscia e priva di struttura, di larghezza uniforme, con uno spessore di circa 9-12 μm .

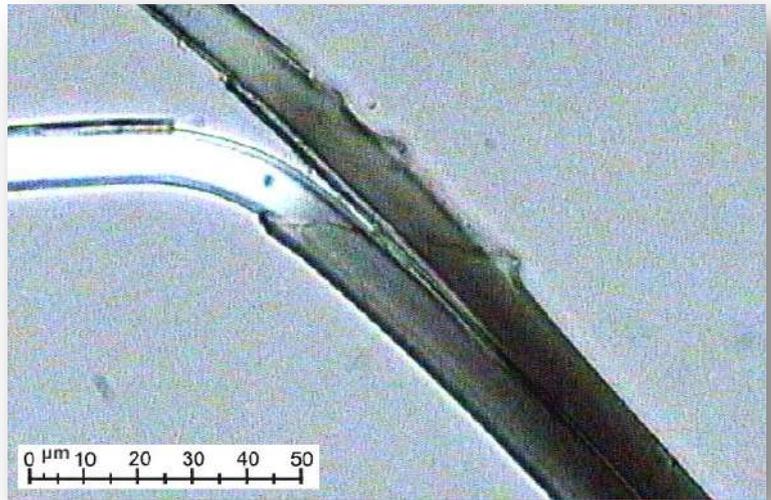


Figura 16 Immagine gentilmente concessa dal Laboratorio Scientifico EcoRicerche s.r.l.

3.2. Riconoscimento delle fibre tessili tramite saggi microanalitici (spot test)

I saggi microanalitici sono ampiamente utilizzati nel campo del restauro per il riconoscimento dei materiali costitutivi le opere d'arte e per la valutazione del tipo di degrado a cui queste sono sottoposte.

Consentono la determinazione qualitativa di specie presenti nel campione sfruttando reazioni chimiche, dirette o indirette molto specifiche e selettive, in grado di produrre variazioni apprezzabili ai materiali in seguito all'aggiunta di opportuni reattivi (formazione di precipitati e/o composti colorati, sviluppo di gas).

Gli sviluppi delle reazioni possono essere seguiti al microscopio e allo stereomicroscopio la cui elevata distanza obiettivo-preparato, pur limitando il potere d'ingrandimento, consente la manipolazione del campione.

Nonostante si tratti di test distruttivi, essi richiedono di norma un quantitativo minimo di materiale.

Il vasto impiego di questi metodi d'indagine va ricondotto ad alcuni requisiti fondamentali:

- semplicità e rapidità esecutive;
- costi limitati;

- elevata sensibilità e selettività;
- possibilità di effettuare le indagini in situ con l'impiego di kit portatili.

Il riconoscimento delle fibre tessili mediante saggi chimici si basa sul principio che le fibre reagiscono ai vari reagenti chimici e solventi a concentrazione fissata in modo diverso a seconda della loro composizione chimica e struttura.

3.2.1 *Saggio alla fiamma*

Nel saggio alla fiamma si considera il diverso comportamento delle fibre nei confronti della combustione.

- Le fibre naturali animali, essendo costituite da sostanze proteiche, bruciano lentamente con caratteristico odore di sostanza cornea bruciata e lasciano un abbondante residuo carbonioso nero e spugnoso;
- Le fibre naturali vegetali, essendo costituite da polisaccaridi, bruciano rapidamente con odore di carta bruciata e lasciano ceneri leggere e biancastre;
- Le fibre artificiali si comportano, come le fibre naturali animali o vegetali, a seconda della loro origine;
- Le fibre sintetiche, costituite da polimeri sintetici di composizione simile alle materia plastiche, bruciano con fumo denso ed acre e con fiamma verdognola; tendono a fondere e sono difficili da spegnere anche quando vengono allontanate dalla fiamma.

3.2.2 *Saggio alla soda caustica*

Si fa bollire la fibra per 30 minuti in NaOH al 10%. Le fibre animali, essendo di natura proteica, si sciolgono velocemente; le fibre vegetali, di natura cellulosica, e quelle sintetiche rimangono inalterate.

- la lana si scioglie completamente poiché la soda caustica al 10% a 50°C distrugge i legami polipeptidici ed idrolizza la cheratina;
- la seta si scioglie;
- il cotone forma sodiocellulosa;
- il lino ingiallisce leggermente ma non si scioglie;
- la canapa e la juta, fibre vegetali lignificate, ingialliscono.

3.2.3 Saggio all'acido solforico concentrato

L'acido solforico concentrato (H_2SO_4) decompone tutte le fibre ad eccezione della lana, ma se il saggio è eseguito a caldo anche la lana viene degradata irrimediabilmente poiché l'acido reagisce con i gruppi amminici e con quelli alcolici degli amminoacidi. Le fibre vegetali si decompongono velocemente mentre quelle animali in 1-2 ore.

3.2.4 Saggio all'acido nitrico concentrato

Reagendo con l'acido nitrico concentrato (HNO_3):

- la lana dà luogo ad una reazione xanto-proteica, si colora di giallo-arancio e non si scioglie perché si ha la formazione di nitroderivati di alcuni amminoacidi;
- la seta si colora di giallo e si scioglie lentamente formando una soluzione gialla;
- le fibre vegetali non si colorano e non si sciolgono; il cotone reagendo con l'acido nitrico forma esteri nitrici.

3.2.5 Saggio con reattivo di Schweitzer

Il reattivo di Schweitzer è una soluzione cuproammoniacale ottenuta trattando una soluzione di solfato di rame ($CuSO_4$) al 10% e NaOH al 10% con ammoniaca concentrata (NH_3).

Permette di classificare le fibre in esame in base alla velocità di solubilizzazione:

- le fibre animali: la lana non si scioglie diversamente dalla seta;
- le fibre vegetali, ad eccezione della juta, si sciolgono lentamente: il cotone prima di sciogliersi si rigonfia; la canapa si scioglie lentamente per la presenza di sostanze incrostanti.

3.2.6 Saggio con reattivo di Hertzberg

Il reattivo di Hertzberg permette di verificare il contenuto di lignina nelle fibre in esame.

Per formare il reagente sono necessarie due soluzioni:

soluzione 1: soluzione di Cloruro di Zinco (50 g di $ZnCl_2$ in 25 mL di acqua)

soluzione 2: sciogliere 0.25 g di Iodio e 5.25 g di Ioduro di Potassio in 12.5 mL di acqua

Mescolare 25mL della prima soluzione con l'intera soluzione 2. Porre in un recipiente stretto e lasciar decantare. Quando la soluzione risulta trasparente (dopo 12-24 ore), travasare il liquido in un recipiente ambrato e conservare lontano da luce e aria.

Utilizzo: sul vetrino da microscopio, applicare una goccia del reattivo alle fibre da esaminare. Dopo qualche minuto, sovrapporre il vetrino da osservazione e procedere con l'analisi a 100X delle fibre, valutando il colore delle singole fibre.

Una colorazione gialla indica un alto contenuto di lignina, indice della presenza di juta. Una colorazione meno gialla e più tendente al verde, arancione o bruno indica un contenuto minore di lignina. Il colore rosso è segno di assenza di lignina, come nel cotone, o bassissimo contenuto, come nel lino e nella canapa.

3.2.7 Test per distinguere le fibre animali dalle fibre vegetali

Il seguente test evidenzia la presenza di Zolfo, che caratterizza le fibre animali.

Il test si esegue con un reagente a base di Azoturo di Sodio (NaN_3): 3 g di NaN_3 in 100 mL di soluzione 0.1N di Iodio in acqua.

Porre le fibre su un vetrino, porre sopra una goccia del reagente, coprire il vetrino e osservare nell'immediato lo sviluppo di effervescenza. Infatti, in caso di presenza di Zolfo si sviluppa immediatamente azoto biatomico N_2 sottoforma di gas.

3.2.8 Test per distinguere fra fibre di lino e di canapa

Per distinguere le fibre di lino dalla canapa si esegue un test di torsione delle fibre, usando l'acqua.

Le fibre, separate tra loro, sono poste su di un vetrino da microscopio, bloccando una estremità della fibra e permettendo all'altra i movimenti. Quindi si esegue una umidificazione

della fibra, pettinandola con un pennello umido per tutta la lunghezza. Utilizzando uno stereo microscopio, si osserva la direzione e l'ammontare della torsione mentre la fibra si asciuga. Il lino si ritorce ripetutamente in senso orario (verso destra), mentre la canapa si attorciglia lentamente in senso antiorario (verso sinistra).

4. I metodi di deacidificazione

Dopo aver compreso quali fattori causano l'acidificazione dei derivati della cellulosa, è doveroso illustrare quali siano i metodi per contrastare i processi di acidificazione in corso nei manufatti tessili e cartacei.

Verranno prese in considerazione in primo luogo le metodologie di deacidificazione della carta, confrontando l'efficacia di metodi più storici e altri più moderni; in seconda battuta si valuteranno i metodi di deacidificazione dei tessuti (tele), che rappresentano un campo di ricerca meno approfondito e più recente.

4.1. La deacidificazione della carta

L'acidità di una carta è rilevabile attraverso due metodologie, una scientifica e molto precisa, l'altra più empirica.

Il metodo scientifico prevede la determinazione potenziometrica, mediante pHmetro, del pH per estrazione e comporta la distruzione di una certa quantità di carta.

Anche il rilevamento del pH per contatto (senza distruzione del materiale) può offrire una visione abbastanza precisa della situazione: la misura è sempre potenziometrica. Il pHmetro, tramite un apposito elettrodo che viene appoggiato sulla superficie della carta preventivamente bagnata, misura la dissociazione dell'acqua, quantificando gli ioni H^+ . Il valore del pH riscontrato determina la decisione di intervenire con una deacidificazione¹⁶.

La deacidificazione è quel processo nel quale, mediante l'impiego di soluzioni alcaline, si cerca di ottenere sia la neutralizzazione delle sostanze acide presenti sulla carta, sia il deposito di un residuo alcalino che possa tamponare le reazioni acide future. Tale residuo dovrà penetrare il più possibile tra le fibre e legarsi saldamente con esse il più stabile possibile e non ridurre la resistenza interfibra della carta.

Il sale depositato deve danneggiare il meno possibile la cellulosa e non far salire il pH della carta ad un valore superiore a 8.5, per evitare a questa danni troppo elevati. Il composto che ha mostrato di possedere maggiormente le qualità sopra esposte è il Carbonato di Calcio ($CaCO_3$).

¹⁶ M. COPEDÈ, *La carta e il suo degrado*, pag. 90.

Esistono numerosi metodi, acquosi e non acquosi, e la scelta fra questi è determinata dalla tipologia e dalla quantità del materiale su cui si opera.

Le sostanze deacidificanti¹⁷ sono costituite da basi deboli: Carbonati, Bicarbonati, qualche Idrossido, vari Ossidi e anche Ammine.

4.1.1 I materiali

CARBONATI

I Carbonati dei metalli terrosi alcalini, come ad esempio il Carbonato di calcio CaCO_3 o il Carbonato di Magnesio MgCO_3 , possono essere considerati dei candidati ideali per la deacidificazione in virtù della loro semplicità chimica e relativamente al costo, all'alta brillantezza, alla reperibilità e all'uso come additivi della carta. I carbonati semplici tendono, comunque, a rimanere relativamente insolubili in acqua a pH neutro così come nei solventi organici, un fattore che limita la loro maniera di distribuirsi sul manufatto cartaceo.

In letteratura (Kolar 1997) si sottolinea come il MgCO_3 impartisca un pH più alto del CaCO_3 ; Santucci (1973-4) osserva casi in cui i composti di Magnesio causano l'invecchiamento accelerato della carta costituita da cellulosa pura, mentre il Carbonato di Calcio no.

BICARBONATI

I Bicarbonati dei metalli terrosi alcalini, in generale, hanno una solubilità in acqua maggiore dei rispettivi Carbonati, una caratteristica che aiuta nella distribuzione quando vengono usati in soluzioni deacidificanti. Ad esempio, il MgCO_3 è considerato praticamente insolubile in acqua (106 mg/L a temperatura ambiente), così come il CaCO_3 che ha una solubilità in acqua di 15 mg/L a temperatura ambiente. La solubilità del Bicarbonato di Calcio $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, invece, è di 166 g/L; quella del Bicarbonato di Magnesio $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ di 2 g/L.

Tabella delle solubilità

Carbonato di Calcio CaCO_3	0.015 g/L	Carbonato di Magnesio MgCO_3	0.106 g/L
Bicarbonato di Calcio $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	166 g/L	Bicarbonato di Magnesio $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	2 g/L

¹⁷ J. W. BATY, C. L. MAITLAND, W. MINTER, M. A. HUBBE, S. K. JORDAN-MOWERY, *Deacidification for the conservation and preservation of paper-based works: a review*, pagg 16 e seguenti. Traduzione propria.

IDROSSIDI

Sebbene vari metalli Idrossidi producano un efficace trattamento nei confronti dell'eccessiva acidità, tendono ad elevare il pH a valori molto alti rispetto alla neutralità.

In letteratura si riscontra spesso l'uso dell'Idrossido di Calcio Ca(OH)_2 (Williams 1971; Hey 1979; Kolar e Novak 1996), sebbene anche l'Idrossido di Bario Ba(OH)_2 sia stato sfruttato come agente alcalino, nelle deacidificazioni non acquose (Baynes-Cope 1969; Lienardy e van Damme 1990).

Riguardo alla solubilità degli Idrossidi di metalli alcalino-terrosi in ambiente acquoso e non acquoso, recenti ricerche hanno riguardato l'uso di particelle fine in sospensione, le "nano particelle". Le dispersioni di nano particelle di Ca(OH)_2 in sospensione in solventi acquosi o organici sono state confermate entrambe come effettivi agenti deacidificanti (Giorgi e altri 2002), anche per i materiali cartacei scritti con inchiostri ferro-gallici. Giorgi (e altri 2005) hanno sintetizzato nano particelle di Mg(OH)_2 e valutato il loro uso nella conservazione della carta.

OSSIDI METALLICI

Molti ossidi metallici sono facilmente trasformabili nella loro corrispondente forma di Idrossido o Carbonato, mediante l'interazione con l'acqua o con la CO_2 , rispettivamente. Ad esempio, l'Ossido di Calcio CaO , chiamato anche calce viva, può essere "spento" con l'aggiunta di acqua, diventando Ca(OH)_2 , e la calce spenta così formata può in seguito reagire con l'Anidride Carbonica formando CaCO_3 . Quest'ultimo materiale è già stato menzionato, in questa sede, come uno tra i migliori prodotti alcalinizzanti per la deacidificazione, oltre che come prodotto in grado di fornire una riserva alcalina al materiale cartaceo deacidificato. Purtroppo gli ossidi dei metalli alcalino terrosi sono difficilmente solubili nei solventi acquosi e non acquosi.

Per questo motivo, il procedimento del Bookkeeper[®], inizialmente sviluppato da Koppers, impiega particelle di grandezza al di sotto del micron (1^{-3} mm) di Ossido di Magnesio e di Calcio (Cunha 1987, 1989). Durante l'uso si suppone che queste particelle si trasformino nella forma idrossilata e possibilmente anche nella forma carbonatica.

AMMINE

Vari composti di ammine sono stati considerati come agenti alcalinizzanti adatti alla deacidificazione della carta. Tra questi troviamo l'Ammoniaca (Kathpalia 1973; Koura e Krausen 1980). Questa sostanza ha un effetto deacidificante solo temporaneo, a causa della forte volatilità in condizioni atmosferiche standard (Cheradame 2003).

4.1.2 Le metodologie di applicazione

Il momento più critico della deacidificazione di un materiale è la scelta del tipo di applicazione del trattamento. Questa presuppone una distribuzione omogenea dell'agente alcalino, tenendo conto del minimo danno all'opera, di un costo accettabile e del massimo grado di praticità.

In questa sede saranno valutati e descritti i metodi applicativi mediante soluzioni acquose e mediante prodotti in solventi organici.

4.1.2.1 La deacidificazione acquosa

I trattamenti acquosi furono storicamente i primi¹⁸ ad essere studiati e sviluppati, parlando di deacidificazione. L'applicazione per via acquosa è preferita dai conservatori per la deacidificazione su piccola scala di singole opere, ma è spesso laboriosa nel caso dei libri, i cui singoli fogli devono essere scuciti, lavati, deacidificati, asciugati e ricuciti insieme.

Il metodo che più di ogni altro¹⁹ riesce a neutralizzare gli acidi presenti e ad inserire un deposito alcalino è l'immersione della carta in una soluzione basica acquosa.

Il lavaggio in acqua permette la solubilizzazione degli acidi liberi formati ed elimina quei prodotti di degradazione della cellulosa che diminuiscono la resistenza della carta; inoltre l'allargamento delle fibre ad opera dell'acqua facilita la migrazione del sale alcalino verso l'interno della carta.

Il metodo più pratico e più seguito nei laboratori di restauro per la deacidificazione con Carbonato di Calcio è l'immersione della carta, nella soluzione acquosa semisatura (sol. Saturata: 1.5 g/L) di Idrossido di Calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Per ottenere la soluzione²⁰, si possono adottare due tecniche: la prima attraverso la diluizione con uguale parte di acqua della soluzione satura; la seconda impiegando l'ossido di calcio CaO al posto dell'idrossido (l'ossido a contatto con l'acqua si trasforma in idrossido). La seconda soluzione permette di impiegare meno sostanza (0.75 gr/L in luogo di 1 gr/L per la soluzione semi-satura).

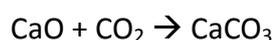
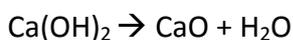
Il processo di deacidificazione, poi, procede con l'immersione della carta nella soluzione deacidificante per 30 minuti e la successiva asciugatura dei fogli.

¹⁸ SCHIERHOLTZ 1936; BARROW 1965; KELLY e FOWLER 1978.

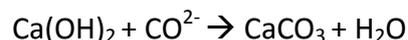
¹⁹ M. COPEDE, *La carta e il suo degrado*, pag 91.

²⁰ C. FEDERICI, L. ROSSI, *Manuale di conservazione e restauro del libro*, pag. 69.

Il tempo di immersione e la percentuale della soluzione permettono di non utilizzare tutto l'Idrossido di Calcio: una certa quantità si deposita fra le fibre della carta. Con l'asciugatura del foglio, una parte di tale sostanza viene convertita in Ossido: questo deposito si combina con l'anidride carbonica (CO₂) dell'aria, formando il Carbonato di Calcio:



e



Questo sale alcalino depositato ha il compito di tamponare le formazioni acide che si formerebbero con il passare del tempo.

Un altro metodo²¹ di deacidificazione molto seguito utilizza il Bicarbonato di Magnesio Mg(HCO₃)₂²² in soluzione acquosa. Il Bicarbonato di Magnesio è ottenuto facendo gorgogliare l'anidride carbonica in una soluzione all'1% di Carbonato di Magnesio. Il foglio viene immerso per 30 minuti.



Altri metodi di deacidificazione con soluzioni acquose sono riassunti nella tabella seguente:

²¹ M. COPEDÈ, *La carta e il suo degrado*, pag 93.

²² J. W. BATY, C. L. MAITLAND, W. MINTER, M. A. HUBBE, S. K. JORDAN-MOWERY, *Deacidification for the conservation and preservation of paper-based works: a review*, pag 16.

Table 4. Aqueous Applications of Alkaline Agents

Chemical formula	Alkaline agent → Alkaline reserve	Application method	Notes on use	Literature references
CaCO ₃	Calcium carbonate	Aqueous solution	Only slightly soluble (0.00015g/L)	Reissland 1999; Hey 1979
MgCO ₃	Magnesium carbonate	Aqueous solution	Only slightly soluble (0.04g/L as 3MgCO ₃ ·Mg(OH) ₂ ·3H ₂ O, 0.00106g/L as MgCO ₃)	Hey 1979
Ca(OH) ₂	Calcium hydroxide → calcium carbonate	Aqueous solution—saturated solution diluted 1:1 with water (approx 0.01M); also used in the Vienna process	High pH (10-12.34) can adversely affect some colorants; slight yellowing of papers; simple to prepare; good retention of alkalinity upon aging; solubility at room temperature 0.017g/L	Reissland 1999; Lienardy and van Damme; Hey 1979; Anguera 1998
Ba(OH) ₂	Barium hydroxide → barium carbonate	Aqueous solution or 1% in methanol	Toxic, high pH leading to yellowing and color change; solubility at room temperature 0.39 g/L	Lienardy and van Damme 1990; Kelly 1972
Ca(OH) ₂ + Ca(HCO ₃) ₂	Calcium hydroxide (bath 1) + calcium bicarbonate (bath 2) → calcium carbonate	Barrow two bath method (aqueous solutions)	Insufficient reserve due to low solubilities of "lime water" and Ca(HCO ₃) ₂ , limiting the amount of CaCO ₃ that can be deposited; high pH of first bath (> pH 12) can have adverse effects	Lienardy and van Damme 1990; Kelly 1972
CaCl ₂ + (NH ₄) ₂ CO ₃	Calcium chloride + ammonium carbonate → calcium carbonate	Double decomposition (aqueous solutions)	Concerns of residual chlorine	Lienardy and van Damme 1990; Kelly and Fowler 1978
Ca(HCO ₃) ₂	Calcium bicarbonate → calcium carbonate	Aqueous solution	pH not greatly increased (maximum 8.1), low alkaline reserve; 1.086g/L when saturated with CO ₂ ; pH of solution 5.88	Reissland 1999; Lienardy and van Damme 1990
Mg(HCO ₃) ₂	Magnesium bicarbonate → magnesium carbonate	Aqueous solution; also used in the Neschen (Bückerburg) and Vienna processes.	Initial spike in pH (max. 9.9-10.5), low alkaline reserve after aging, yellowing of paper; "gritting" observed; challenging to prepare; poor light stability of treated paper; 18.3g/L when saturated with CO ₂ (approx. 0.04M); pH of solution 7.07	Reissland 1999; Lienardy and van Damme 1990; Daniel et al. 1990; Hey 1979
Ca(HCO ₃) ₂ + Mg(HCO ₃) ₂	Calcium-magnesium bicarbonate → calcium-magnesium carbonate	5:1 Ca/Mg w/w	Combines lower pH of Ca(HCO ₃) ₂ and more substantial alkaline reserve of Mg(HCO ₃) ₂ ; pH of solution 8.0-8.5	Anguera 1998
Na ₂ B ₄ O ₇	Sodium tetraborate (borax) → NaOH	Aqueous solution	Decrease in DP after humid aging (total & immediate loss of strength in wood pulp paper), change in inks & pigments, yellowing, caution required with coated papers & tempera colors (borax can cause oxidation of protein compounds, e.g. casein); (30g/L); solution pH 7.1	Lienardy and van Damme 1990; Daniel et al. 1990

Figura 17 Tabella riassuntiva dei metodi di deacidificazione acquosa,

tratta da J. W. BATY, C. L. MAITLAND, W. MINTER, M. A. HUBBE, S. K. JORDAN-MOWERY, Deacidification for the conservation and preservation of paper-based works: a review, 2010

4.1.2.2 La deacidificazione non acquosa

La deacidificazione non acquosa è un trattamento impiegato nel caso di materiali che temono il contatto con l'acqua. Ciò può avvenire sia nel caso di carte con colori o inchiostri solubili in questo solvente (ma resistenti ai solventi della deacidificazione non acquosa) e non fissabili in alcuna maniera, sia nel caso di supporti che possono subire gravi alterazioni dalla permanenza in acqua.

La deacidificazione non acquosa non possiede un'efficacia paragonabile a quella acquosa, in quanto i prodotti acidi di degradazione della cellulosa sono particolarmente solubili in acqua, assai meno nei solventi usati in questo processo. Così la deacidificazione non acquosa non può contare sul benefico effetto del lavaggio, che elimina previamente una cospicua porzione dell'acidità, mentre il proprio potenziale alcalino potrebbe essere assorbito per intero dall'acidità contingente, rischiando di non costituire riserve contro le neo formazioni acide.

Le soluzioni utilizzate nel trattamento non acquoso possono essere i composti metallo-organici, utilizzati allo stato gassoso o spray, oppure soluzioni a base di alcol (etilico o metilico), nel quale si solubilizza un composto a reazione alcalina.

IL METODO WEI T'O²³

Il metodo Wei T'o prevede un trattamento del materiale con un agente alcalinizzante in forma liquida, come il Metilmagnesio Carbonato (MMC), in un solvente.

Questo metodo, inventato negli anni '70 da Richard Smith, ha subito nel corso del tempo varie modifiche: inizialmente veniva usato il Metossido di Magnesio come agente deacidificante, ma questo composto risultò essere troppo sensibile all'umidità. Recentemente il metodo Wei T'o è stato modificato con l'introduzione del Metossimagnesio Metilcarbonato (MMMM), molto più stabile all'umidità. Inizialmente il solvente era costituito da uno dei molti Freon, ma più tardi venne cambiato con dei composti di idrossiclorofluoro. Questi solventi sono genericamente accompagnati da un co-solvente Metanolo per assicurare la piena solubilizzazione dell'agente alcalino.

²³ J. W. BATY, C. L. MAITLAND, W. MINTER, M. A. HUBBE, S. K. JORDAN-MOWERY, *Deacidification for the conservation and preservation of paper-based works: a review*, 2010.

Il processo venne inizialmente sviluppato per un trattamento a spruzzo e ad immersione di singole opere. In seguito, la biblioteca dell'Università di Princeton adottò il metodo, sviluppandolo nella deacidificazione di massa.

Il metodo Wei T'ò è stato usato con successo in Canada per molti anni (Smith 1977, 1987; Scott 1987; De Candido 1988; Morrow 1988); l'accorgimento principale è che molte opere cartacee necessitano prima di un test per verificare la solubilità dell'inchiostro. Il metodo infatti prevede un'attenta selezione delle opere da trattare, che non devono essere sensibili al Metanolo, il co-solvente utilizzato.

IL METODO BOOKKEEPER®²⁴

Il metodo Bookkeeper® (Cunha 1987; Turko 1990; Lienadry 1994) prevede l'utilizzo di un composto del Magnesio in N-Propanolo (Polovka e altri 2006) o Perfluoroeptano (Dufour e Havermans 2001).

Diversamente dagli altri metodi, nel Bookkeeper®, pur usando un liquido non acquoso, l'agente alcalinizzante non è in soluzione. Infatti il prodotto è costituito da una fine sospensione di particelle di Ossido di Magnesio MgO che, a contatto con l'umidità del materiale da trattare, si suppone formino l'Idrossido di Magnesio Mg(OH)₂ una volta applicato. La soluzione Bookkeeper® non è tossica, non comporta l'uso di elementi chimici potenzialmente esplosivi, non necessita di pretrattamenti ed è disponibile e pronta all'uso sottoforma di spray per deacidificazioni in casa e anche trattamenti di massa.

Il metodo Bookkeeper® dà soluzione a due sfide: trasporta le particelle mediante un flusso di fluido e permette la permanenza e l'adesione delle particelle al materiale trattato. Nessuno di questi due processi è ben compreso a fondo. Mentre è risaputo che la quantità dell'agente alcalino trasferito può differire a seconda delle caratteristiche del manufatto, l'operatore non ha la possibilità di controllarne il buon esito. Inoltre, il deposito relativamente grande di particelle di MgO, rispetto ad altri metodi che applicano agenti alcalini in soluzione, ha sollevato questioni sui meccanismi e velocità di equilibrio con la carta in condizioni conservative relativamente asciutte.

²⁴ J. W. BATY, C. L. MAITLAND, W. MINTER, M. A. HUBBE, S. K. JORDAN-MOWERY, *Deacidification for the conservation and preservation of paper-based works: a review*, 2010.

Il metodo Bookkeeper® viene presentato sia come trattamento di massa, sia come trattamento per singoli manufatti (Bookkeeper® Deacidification Spray).

IL BOOKKEEPER® DEACIDIFICATION SPRAY

Il Bookkeeper® Deacidification Spray è un prodotto destinato all'uso di applicazioni manuali, per la deacidificazione di singoli manufatti. Secondo quanto riportato nel sito internet della casa produttrice²⁵, il prodotto è costituito da Ossido di magnesio MgO disperso e sospeso in un materiale inerte liquido: una miscela di solventi fluorurati non tossici, non meglio specificati. Una volta spruzzato sull'opera, il solvente evapora, lasciando la carica alcalina sulla superficie. Viene reso noto, inoltre, che il Bookkeeper® Deacidification Spray, pur alzando il pH fino anche a 10.4 punti di pH non causa idrolisi basica.

IL CSC-BOOKSAVER®

Il processo tramite CSC-Booksaver® è un metodo di deacidificazione non acquosa relativamente nuovo nel mercato europeo. Lo sviluppo di tale metodo inizia negli anni '90 presso l'Università Politecnica della Catalogna (UPC), in collaborazione con la società spagnola Conservación de Sustratos Célulosicos (CSC).

Il metodo CSC-Booksaver® prevede l'introduzione di una soluzione di Propossi Magnesio Carbonato in 1-Propanolo (70% w/w) con un propellente di Eptafluoropropano (HFC 227). HFC 227 è atossico, non infiammabile, privo di odore e non ha interazioni con l'ozono.

Il trattamento, come quello del Bookkeeper®, è previsto sia come deacidificazione di massa, sia come prodotto spray per applicazioni manuali.

Nella deacidificazione di massa, i vantaggi di questo processo sono la relativa stabilità all'agente deacidificante portato a contatto con la carta contenente la tipica umidità. Ciò permette il trattamento del materiale di archivi e biblioteche senza un ulteriore pretrattamento di deumidificazione richiesto invece da altre deacidificazioni di massa.

²⁵ <http://ptlp.com/en/bookkeeper/>

4.2. La deacidificazione dei tessuti

La deacidificazione dei tessuti di supporto ad un'opera pittorica è un argomento relativamente nuovo e poco conosciuto.

Infatti, mentre il materiale cartaceo con l'insorgere dell'acidità ingiallisce in modo evidente, la tela subisce lo stesso degrado ma in maniera meno visibile, data la sua posizione nei confronti del dipinto che viene osservato dal fronte, raramente dal retro. La tela inoltre è spesso già caratterizzata da un tono giallino o bruno, per cui un ulteriore ingiallimento o imbrunimento dovuto all'invecchiamento non è immediatamente percepibile. Infine, il deposito superficiale, i trattamenti manutentivi, le foderature eseguite in maniera sistematica in alcuni secoli hanno permesso che la manifestazione macroscopica del fenomeno di degrado in corso venisse nascosta o resa meno evidente.

Per questi motivi, i trattamenti deacidificanti dei supporti tessili sono spesso mediati dai processi che si eseguono da molto più tempo sulla carta e i prodotti usati sono i medesimi. Nel caso dei dipinti, naturalmente, è necessario valutare bene quale metodo utilizzare, in base alla natura degli strati preparatori, pittorici e protettivi dell'opera d'arte. Pur trattando il dipinto dal retro, è inevitabile che il solvente del trattamento deacidificante permei anche gli strati frontali e, per evitare interazioni non controllabili, è necessario valutare bene la natura, lo stato di conservazione dell'opera e le possibili interazioni con il solvente prima di effettuare la deacidificazione.

Nel 2002 una ricerca²⁶ ha dimostrato come le nanotecnologie possano essere impiegate per la produzione di nano particelle di Idrossido di Calcio in dispersione non acquosa. Tali dispersioni "sono molto efficienti per la deacidificazione della carta e possono essere applicate alla carta e alla tela"²⁷. In questo studio, i ricercatori hanno utilizzato una soluzione nano particellare di Idrossido di Calcio in Isopropanolo, un alcol a catena corta a bassa tensione superficiale, ideale al fine di permettere la bagnabilità di substrati idrofili come carta e tessuto.

Nel 2012, uno studio italiano²⁸ ha messo in luce la possibilità di deacidificare una tela, che in questo caso costituiva la controfondatura di un'opera grafica su carta, mediante una soluzione

²⁶ R. GIORGI, L. DEI, M. CECCATO, C. SCHETTINO, P. BAGLIONI, *Nanotechnologies for Conservation of Cultural Heritage: Paper and Canvas Deacidification*, Langmuir, Vol. 18, No. 21, 2002

²⁷ Ibid. pag. 6.

²⁸ A. CASOLI, F. ROMAGNOLI, I. SACCANI, F. SAGGESE, *Farnesia Arbor, opera grafica dipinta su carta foderata: dalla caratterizzazione preliminare al trattamento di deacidificazione*, articolo tratto dagli Atti del Convegno "Prima, durante...invece del Restauro – Parma 16-17 novembre 2012", Il Prato editore, 2013.

acquosa di Bicarbonato di Calcio in forma di aerosol. In questa circostanza, date le condizioni conservative dell'opera, è stato scelto un metodo delicato e rispettoso, che permettesse la deacidificazione dei supporti sensibili al contatto con alcali e che necessitano di un ridotto apporto di acqua.

Sempre nel 2012²⁹, Stephen Hackney ha sottolineato l'effettività del metodo Wei T'o per la deacidificazione di una tela e ha proposto inoltre la deacidificazione di tessuti usando le moderne nano particelle di sostanze basiche. Ha affermato inoltre che, sebbene ancora non siano stati riscontrati effetti negativi a lungo termine della deacidificazione di supporti tessili, le ipotesi di efflorescenze, scolorazioni o reazioni chimiche con i pigmenti dopo 30 anni dal trattamento di campioni e opere d'arte ancora non sono stati evidenziati.

Pare dunque che il processo di deacidificazione dei supporti in tessuto sia non solo effettuabile, ma anche auspicabile per la conservazione dell'opera. La metodica di applicazione e le caratteristiche della soluzione deacidificante sono da valutare in base al tipo di opera da trattare e al suo stato conservativo, oltre che alla disponibilità di mezzi del restauratore.

Nella Seconda Parte della presente trattazione, verrà presentato un approccio alla deacidificazione di un'opera su tela, proponendo metodi semplici e facilmente riproducibili in un comune laboratorio di restauro.

²⁹ S. HACKNEY, *The De-acidification of Canvas Paintings*, articolo tratto dagli Atti del Convegno "Prima, durante...invece del Restauro – Parma 16-17 novembre 2012", Il Prato editore, 2013.

SECONDA PARTE³⁰

³⁰ Le immagini presenti in questa sezione appartengono all'autrice, se non altrimenti specificato.

1. L'opera

Il manufatto in esame è un dipinto a olio su tela risalente alla fine del secolo XVII. Insieme ad altri tre dipinti, fa parte di un ciclo pittorico proveniente dal Sotoportego di Corte Nova, nel sestiere di Castello, a Venezia.

Le quattro tele raccontano l'epidemia di peste del 1630 a Venezia e si riferiscono alla leggenda di Giovanna, una ragazza che ha una visione: la Vergine le assicura che, se gli abitanti di Corte Nova si affideranno a Lei elevandole preghiere, il quartiere non sarà toccato dall'epidemia. La stessa Giovanna dipinge un quadro raffigurante la Vergine, San Rocco, San Sebastiano e San Lorenzo (raffigurato in una delle quattro tele) e lo pone all'ingresso della Corte, a protezione del quartiere. Gli abitanti di Corte Nova, in effetti, non morirono nel corso di quella pestilenza.

Il dipinto preso in considerazione in questa sperimentazione porta il titolo *"Conforti religiosi agli appestati"*. In una Venezia seicentesca, riconoscibile dalla Torre dell'Orologio sullo sfondo, si individuano delle figure giacenti in primo piano (gli ammalati) e delle figure oranti in piedi.



Figura 18 Il recto e il verso dell'opera in esame

1.1. Dati di riferimento

OPERA	Olio su tela
TITOLO	“Conforti religiosi agli appestati”
PROVENIENZA	Venezia, Sotoportego di Corte Nova
UBICAZIONE	Depositi della Soprintendenza Belle Arti e Paesaggio per Venezia e Laguna
MISURE	163 cm x 130 cm
SECOLO	XVII sec.
AUTORE	Sconosciuto

2. Scheda della tecnica esecutiva

In questa sezione si intende descrivere la tecnica originale di costituzione del dipinto, prendendo in considerazione tutte le parti di cui esso è composto: il telaio, la tela originale, la preparazione, la pellicola pittorica, lo strato di vernici.

Il telaio

Il telaio misura 163x130 cm. E' un telaio semplice, fisso, non espandibile, composto di quattro regoli perimetrali aventi incastro a mezzo legno.

Agli angoli sono presenti 4 saettoni di rinforzo, più recenti rispetto al telaio originale, fissati con colla e 5 chiodi ciascuno. Probabilmente, essi sono stati aggiunti durante un intervento manutentivo, valutando necessario irrobustire la struttura del telaio che rischiava, altrimenti, di non mantenere la propria forma.

Non sono presenti attaccaglie né sistemi di ancoraggio del telaio alla parete.

La tela originale

Il tessuto su cui sono stesi gli strati pittorici è costituito da fibre di juta³¹. E' presente la cimosa sul lato lungo in alto. L'armatura è a tela, ma meno grossolana della tela di rifodero, con una riduzione di fili al cm² di 8x8. L'ordito è posto in verticale, la trama in senso orizzontale.

La preparazione

E' presente uno strato di preparazione di spessore piuttosto sottile e di colore rosso-bruno, probabilmente costituito da una mestica oleosa a base di pigmenti terrosi. Durante la fase di pulitura, si nota che il pittore sembra aver eseguito, sulla preparazione color rosso scuro, i fondi cromatici di tonalità rossa più chiara e verde-bruno.

Lo strato pittorico

La tecnica usata dall'autore è la pittura a olio. La superficie pittorica è liscia, non fa trasparire l'armatura della tela. Le tinte utilizzate non sono individuabili, a causa del forte scurimento dello strato sovrammesso. E' possibile ipotizzare che i bianchi siano costituiti da pigmenti a base di piombo (biacca), come da tradizione. Le pennellate sono corpose nei colori chiari, mentre i colori scuri appaiono piatti, non materici.

Gli strati superficiali

Non è possibile individuare con certezza lo strato di vernice originale, che si presume sia comunque presente al di sopra dello strato pittorico.

Nel corso degli anni, infatti, sono stati stesi molteplici strati di vernici naturali pigmentate, colle animali e *beveroni*³² sulla superficie, in grado sul momento di conferire maggiore vividezza all'opera, ma poi ingialliti e imbruniti, tanto da non permettere ad oggi la corretta lettura dei valori cromatici del dipinto.

³¹ La natura delle fibre è stata determinata con analisi al microscopio ottico. Vedi il paragrafo 5.1.1 *Indagini preliminari* della presente trattazione.

³² Miscele di vernici e oli, secondo varie ricette, date solitamente a caldo sulla superficie delle opere, con lo scopo di dare nuova vitalità ai colori del dipinto o una certa patinatura.

Le stesure successive dei vari prodotti non sono avvenute previa rimozione dello strato precedente, ma sono state sovrapposte le une alle altre, senza un trattamento di chiusura delle lacune: in alcuni punti le vernici sono date anche direttamente sulla tela e passano sul retro della tela originale e di quella di rifodero. Le stesure riguardano, comunque, l'intera estensione dell'opera.

In fase operativa, si è potuto constatare come lo strato più superficiale sia costituito da una stesura di materiale sintetico, probabilmente riconducibile a una vernice flatting, a base di resine sintetiche.

3. Scheda dello stato conservativo

Nella scheda dello stato conservativo si intende fornire una precisa descrizione dello *status quo* dell'opera presa in esame, riferito al momento dell'arrivo del manufatto in laboratorio.

Il telaio

Il telaio sembra essere di buona fattura (non svergolato, non imbarcato, non falcato).

I regoli presentano 3 nodi caduti e 2 fori di sfarfallamento da insetti xilofagi; non sembra tuttavia che l'attacco sia attivo, data l'assenza, anche durante le fasi di lavorazione sull'opera, del caratteristico rosone (polvere costituita da materiale di scarto prodotto dagli insetti che si nutrono del legno), indicatore della presenza di insetti xilofagi vivi.

Sull'angolare in alto a sinistra è presente una etichetta riportante le misure, la provenienza, il numero di inventario (120) e la parola "*destro*" scritta in gesso bianco; sull'angolare in alto a destra un "#" in matita. Gli angolari non sono integri: quello in alto a sinistra risulta mancante di una porzione; tutti e quattro presentano numerose fessurazioni.

Si nota un leggero sbiancamento del regolo inferiore, dovuto probabilmente al contatto con la muratura del luogo di provenienza.

Vi è un consistente deposito polverulento presente soprattutto sullo spessore interno del regolo in basso e sullo spessore superiore del regolo in alto.

La tela di rifodero

E' presente un deposito superficiale incoerente diffuso. Si nota la presenza dei fori della precedente chiodatura anche sulla tela di rifodero. Il tensionamento è indebolito: la tela risulta rilassata e presenta uno spanciamento leggero nella parte bassa.

Si nota inoltre un leggero indebolimento delle fibre in corrispondenza dei margini.

Osservando il retro della tela di rifodero, si nota la presenza di una macchia scura molto ampia in basso a sinistra, in corrispondenza e con la forma squadrata dell'inserto del fronte: probabilmente è una macchia dovuta alla colla con cui venne fissato l'inserto. Altre macchie scure sono localizzate nella metà in basso della tela, riconducibili al passaggio dal fronte al retro di vernici/beveroni, attraverso i cretti superficiali che non vennero stuccati prima degli interventi sul fronte.

La tela originale

Il tessuto originale presenta un deposito consistente di sporco incoerente sui bordi.

Si nota un ancoraggio della tela al telaio puntuale, con chiodi (sellerine) battuti a mano. E' evidente la presenza dei fori di una precedente inchiodatura.

Si nota inoltre la presenza di brandelli di carta kraft scuriti, incollati sullo spessore destro della tela. Probabilmente la carta kraft, riconducibile ad un precedente intervento di restauro, rivestiva tutto il perimetro del quadro, con la funzione di coprire il bordo di chiodatura.

In corrispondenza dell'inserto in tela aggiunto sul fronte, sulla lacuna in basso a destra, i bordi della tela originale che combaciavano con l'inserto non sono più ben adesi alla tela da rifodero, quindi non sono più coincidenti e uniti all'inserto, sono anzi leggermente sollevati ed accartocciati.

La preparazione

Si notano numerosi distacchi dello strato preparatorio dalla tela, localizzati soprattutto lungo i bordi. La preparazione si è staccata in seguito alla formazione dei cretti (fratture del film pittorico), lo scodellamento, la deadesione e la caduta del colore.

Lo strato pittorico

I colori chiari sono stesi con pennellate più spesse, non presentano crettatura. Questa compattezza è dovuta probabilmente alla composizione a base di Biacca (Carbonato basico di Piombo $(\text{PbCO}_3)_2 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$), pigmento in grado di favorire la siccatività dell'olio in fase di asciugatura e di rendere, perciò, più robusta e tenace la campitura.

La crettatura generale, visibile soprattutto sui colori scuri, ha un andamento non regolare, coincidente forse con quello degli strati preparatori.

Lungo i bordi di tutto il dipinto si nota una craquelure differente rispetto alla parte centrale dell'opera: i cretti presentano una trama più larga, le scodelle del colore crettato presentano bordi molto sollevati e irregolari, le isole sono abbastanza grandi e distanziate. Al centro del dipinto, invece, la crettatura è più fitta, le scodelle meno sollevate e più ravvicinate. Le cause di questa situazione così differenziata sono da imputarsi, probabilmente, nella presenza di pigmenti a base di Biacca (molto resistenti) nella parte centrale dell'opera e contemporaneamente alle forti tensioni angolari cui il dipinto è stato sottoposto nel corso dei secoli. Il dipinto, vincolato al telaio e sottoposto ai cicli naturali di innalzamento e abbassamento dell'Umidità Relativa circostante, risponde tendendosi ed allentandosi a seconda dell'Umidità. Gli strati di cui è composto, però, non seguono tutti il medesimo ritmo e finiscono per cretarsi soprattutto nelle zone soggette alle maggiori forze di tensione: gli angoli³³.

Su tutto il perimetro è percepibile la battuta del telaio, segnale della diminuzione del tensionamento della tela che, nel tempo, è andata in appoggio ai regoli retrostanti.

³³ M. F. Mecklenburg, *Meccanismi di cedimento nei dipinti su tela. Approcci per lo sviluppo di protocolli di consolidamento*, collana I talenti, ed. Il Prato, 2007.

Gli strati superficiali

Gli strati superficiali risultano molto ingialliti e scuriti, conferiscono un tono molto bruno all'intera opera e non permettono la piena leggibilità delle figure e dei colori.

4. Precedenti interventi

Non è la prima volta che il dipinto subisce dei trattamenti di restauro e manutenzione. Sono da considerarsi tali, infatti, la foderatura a colla pasta, di epoca sconosciuta, e il grande inserto in tela presente sull'angolo in basso a destra del dipinto, probabilmente successivo alla foderatura.

La tela di rifodero è costituita da un tessuto che si presenta molto rigido al tatto, ruvido e stopposo: probabilmente si tratta di iuta. L'armatura individuata è l'armatura tela, con una riduzione di fili per cm² pari a 4x4: una tela patta. La trama è posta nel senso verticale mentre l'ordito in senso orizzontale.

In fase di sfoderatura, si è potuto constatare come l'adesivo utilizzato fosse la colla pasta, identificabile dall'inevchiamento che porta alla vetrificazione del materiale e dalla caratteristica solubilità in acqua tiepida, metodo con cui è stata asportata per la maggior parte.

L'inserto posta in basso a destra è stato ritagliato con bordi netti e squadrati e incollato alla tela di rifodero. Altre toppe più piccole completavano le lacune attorno all'inserto, in modo da ricostituire l'immagine, ma non sono giunte a noi.

Probabilmente anche il telaio è frutto di un intervento di manutenzione: la doppia fila di fori da chiodatura presenti sulla tela originale e su quella di rifodero fa presupporre che la tela, già foderata, sia stata schiodata dal precedente telaio e poi ritensionata sul telaio attuale. L'intervento è stato probabilmente voluto in quanto il telaio originale non svolgeva più la sua funzione.

In fase di pulitura, è stato rinvenuto, al di sotto degli strati di vernici, un intervento di stuccatura delle lacune della preparazione con uno stucco probabilmente sintetico, intervento grossolano che copre parzialmente la pittura originale.

Anche le sovrammissioni di vernici sono da considerarsi interventi manutentivi dei secoli passati, in quanto avevano lo scopo di donare vivacità al colore probabilmente già ingiallito.

In tempi più recenti, l'opera è stata rivestita superficialmente da una vernice sintetica a base di resine polimeriche, probabilmente una vernice flatting da barca. La sua presenza è stata riscontrata in fase di pulitura del dipinto e confermata dall'esame alla luce UV: lo strato sintetico conferisce un tono sordo e biancastro alla fluorescenza della vernice naturale sottostante.

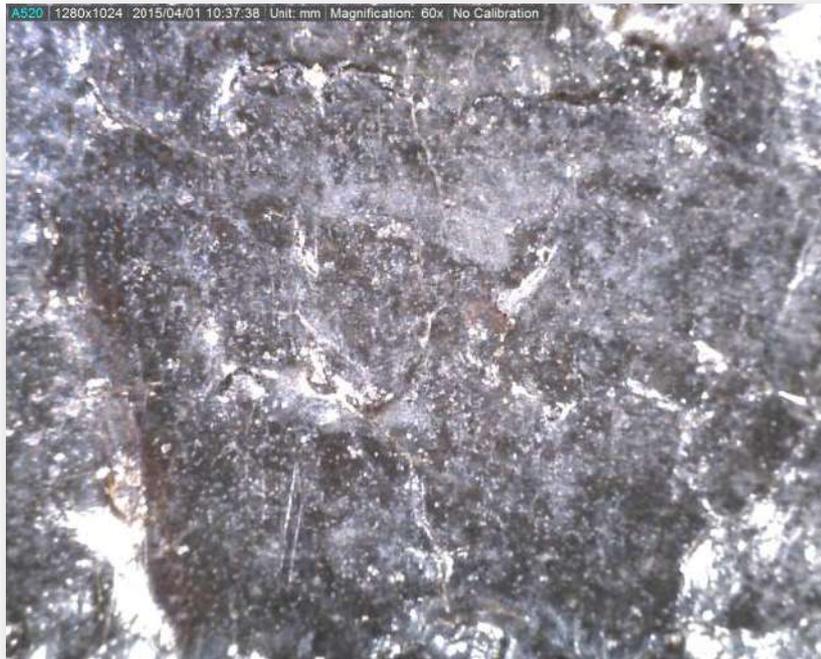


Figura 19 La superficie dell'opera a luce visibile, 50X

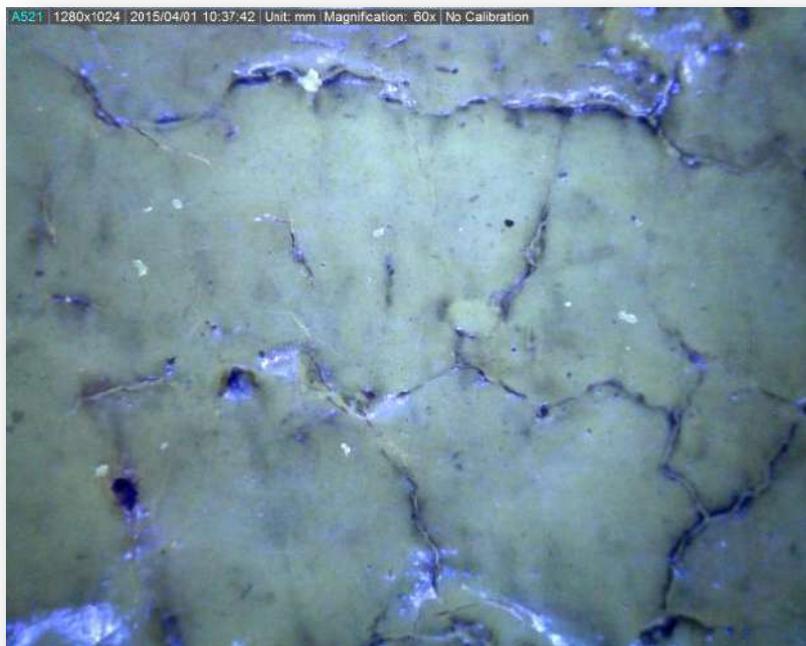


Figura 20 La medesima superficie a luce UV, 50X. La fluorescenza gialla appartiene alle sovrammissioni di vernici, la fluorescenza biancastra indica la presenza del flatting.

5. Progetto di intervento

Il presente progetto di intervento ha l'intento di descrivere le operazioni di restauro conservativo già eseguite sull'opera e le motivazioni che ne hanno portato all'adempimento. Esso verrà, inoltre, completato con la proposta dei processi di restauro ai quali il manufatto può essere sottoposto al fine di preservarne la conservazione nel tempo e favorirne la leggibilità completa.

<u>OPERAZIONI ESEGUITE</u>	
Indagini preliminari	Campagna grafica e fotografica (luce diretta, luce radente, UV, IR)
	Indagini al microscopio ottico per la determinazione del tipo di fibra
Interventi strutturali	Distacco dell'inserto
	Sfoderatura pulitura del retro
	Rimozione dal telaio
	Creazione dei falsi margini e tensionamento sul telaio interinale
Interventi sugli strati pittorici	Velinatura totale del fronte
	Appianatura delle scaglie di colore
	Svelinatura
	Test di pulitura (rimozione degli strati di vernice)
	Pulitura con Solvent Surfactant Gel di Acetone

OPERAZIONI ESEGUITE AI FINI DEL PRESENTE ELABORATO

Interventi sulla pellicola pittorica	Pulitura superficiale graduata
Interventi sul supporto	Pulitura del retro con Agar-Agar
	Deacidificazione dal retro

OPERAZIONI IN PROGETTO

Interventi strutturali	Risarcimento della lacuna tessile
	Tensionamento sul telaio
Interventi estetici	Stuccatura delle lacune più estese
	Reintegrazione cromatica delle lacune
	Verniciatura finale

5.1. Descrizione delle operazioni già eseguite

Nei punti seguenti verranno brevemente descritte le operazioni che erano già state eseguite sull'opera nel momento in cui è iniziata la fase di studio sui metodi deacidificanti di seguito riportata.

Date le condizioni conservative, dopo le prime indagini conoscitive si è scelto di porre rimedio innanzitutto ai problemi strutturali dell'opera, procedendo all'appianamento e alla riadesione delle scaglie di colore, alla sfoderatura e al tensionamento sul telaio interinale, dopo l'applicazione di strisce perimetrali.

La seconda fase ha visto l'esecuzione di test per determinare il tipo e il grado di pulitura della superficie, al fine di rimuovere gli strati superficiali che non permettevano la leggibilità dell'opera.

5.1.1. Indagini preliminari

L'opera è stata sottoposta ad indagini non invasive mediante una campagna fotografica condotta con la luce nelle frequenze del visibile (380-740 nm), ultravioletto (<380 nm) e vicino infrarosso (>780 nm).

Mediante la luce visibile è stato possibile evidenziare lo *status quo* della superficie del quadro: la presenza di lacune della pellicola pittorica e della preparazione e il forte imbrunimento e ingiallimento degli strati superficiali è stato evidenziato dalle indagini a luce diretta.



Figura 181 Visione del fronte e del retro dell'opera a luce visibile diretta.

L'incidenza radente della radiazione visibile ha permesso di focalizzare l'attenzione sui sollevamenti del colore e della tela, nonché la perdita di adesione rispetto alla tela di rifodero, soprattutto in corrispondenza dell'inserito presente sul fronte.



Figura 22 L'opera a luce visibile radente.

La luce ultravioletta ha confermato l'esistenza di omogenei e spessi strati di vernici, naturali e sintetiche, presenti su tutta la superficie dell'opera.



Figura 23 La superficie a luce ultravioletta

La luce infrarossa ha reso in modo nitido le figure dipinte delle quali, ad una osservazione a luce visibile, si percepiscono solo gli incarnati.



Figura 24 L'opera vista a luce infrarossa

Le indagini eseguite mediante il microscopio ottico Nikon Optiphot-2 con Videocamera JVC TK-C1380 sono state volte a determinare e caratterizzare il filato della tela originale. Si tratta di fibre di juta, disposte in fasci difficilmente separabili, caratterizzate dai segni longitudinali ben definiti e dai segni trasversali privi di rigonfiamenti.

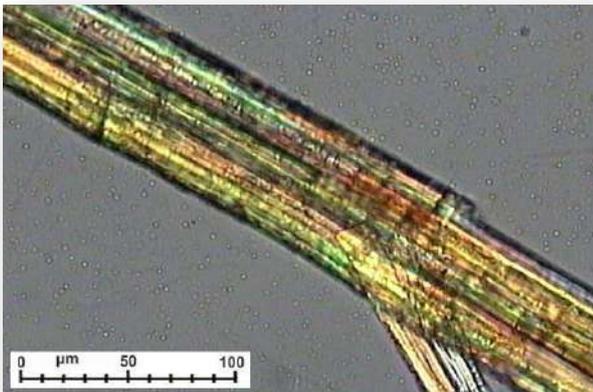


Figura 25 Fotografia al microscopio ottico a 200X in Luce Polarizzata- filato della trama.

Gentilmente concessa da Ecoricerche s.r.l.

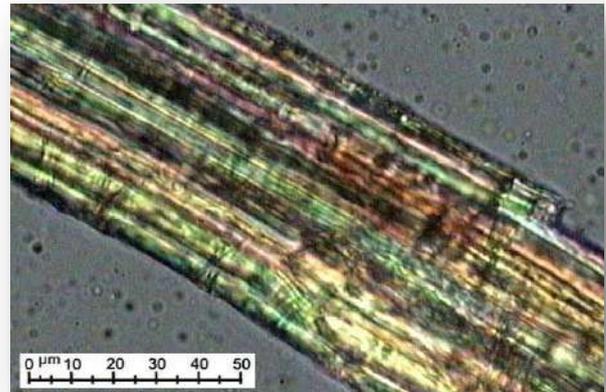


Figura 26 Fotografia della stessa fibra a 400X in Luce Polarizzata- filato della trama.

Gentilmente concessa da Ecoricerche s.r.l.



Figura 27 Fotografia al microscopio ottico a 40X in Campo Bianco - filato dell'ordito.

Gentilmente concessa da Ecoricerche s.r.l.

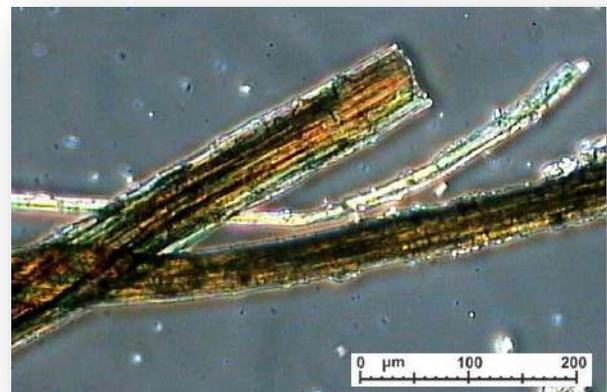


Figura 28 Fotografia al microscopio ottico a 100X in Luce Polarizzata - filato dell'ordito.

Gentilmente concessa da Ecoricerche s.r.l.

Dalle immagini si può notare come le fibre siano ricoperte da sporco e impurità, dovute ai residui di collapasta, alla polvere e all'invecchiamento del filato.

5.1.2. Interventi sul supporto

Il quadro è stato inizialmente posto con il recto rivolto verso il piano di lavoro ed è stata eseguita la sfoderatura parziale del retro: la tela di rifodero è stata rimossa meccanicamente dal centro dell'opera, mantenendola in corrispondenza del perimetro e del telaio, per facilitarne gli spostamenti nel luogo di lavoro.



Figura 29 La sfoderatura del retro.



Figura 30 Il mantenimento della foderatura sui bordi.

In seguito si è scelto di procedere al distacco dell'inserito, che non si presentava più adeso alla foderatura e non costituiva più una reintegrazione cromatica e figurativa adeguata.

La tela è stata quindi rimossa dal telaio asportandone la chiodatura ed è stata completata la sfoderatura del retro, rimuovendo le porzioni perimetrali della vecchia foderatura. La tela originale, che si presentava rigida a causa della presenza della collapasta -usata per la foderatura- ormai vetrificata, ha subito un processo di pulitura mediante apporto di acqua tiepida, spugne e spazzolini. La rimozione dei residui di collapasta ha permesso di liberare parzialmente le fibre della tela, recuperandone la morbidezza e il valore estetico. Un leggero apporto di calore ha permesso, infine, l'asciugatura.

Piccoli fori e tagli del supporto originario sono stati risarciti localmente con ponticelli di tessuto sintetico leggero, adesi con Beva film.

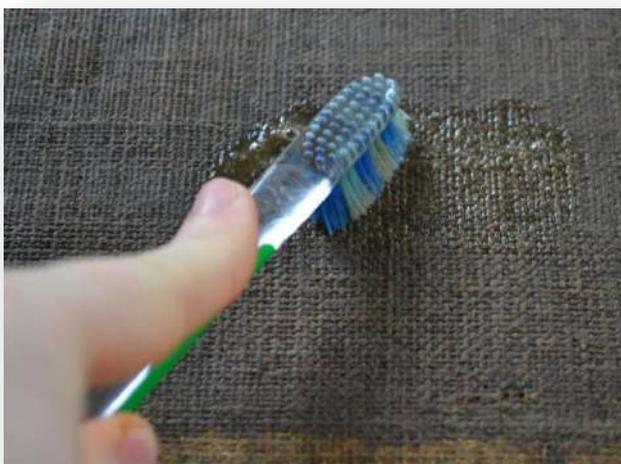


Figura 31 La fasi di pulitura dalla collapasta del retro

L'ultima fase del restauro strutturale ha riguardato l'esecuzione dei falsi margini e il tensionamento della tela sul telaio interinale. I falsi margini sono strisce di tessuto leggero fissate con adesivo ai bordi della tela originale e sono necessari per procedere con il tensionamento sul telaio interinale. Il tessuto scelto per i falsi margini è stato un tessuto sintetico, leggero e resistente, applicato con un adesivo sintetico: la resina in dispersione acquosa Plextol B500³⁴,

³⁴ Resina acrilica in dispersione, a base di EA (60)/MMA (40), stabilizzata a un pH tra 9 e 10.

addensata con Klucel G all'1,5% e riattivata, poi, a solvente (Metiletilchetone) per effettuare l'adesione alla tela originale.



Figura 32 L'esecuzione della striscia perimetrale per l'inserto



Figura 33 Le strisce perimetrali con il Plectol B500

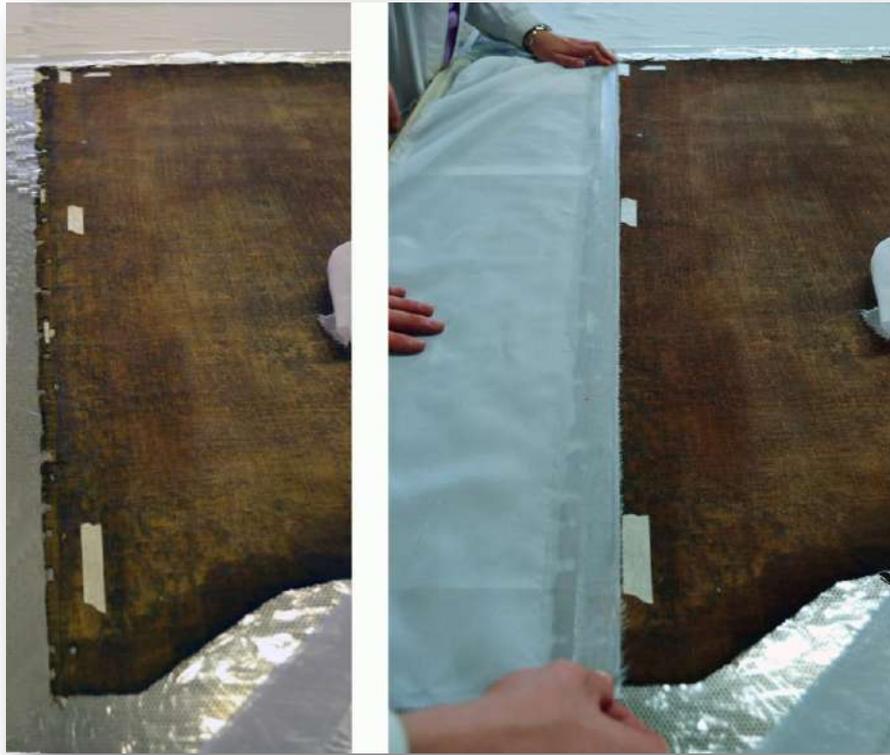


Figura 34 L'adesione delle strisce perimetrali al bordo della tela originale



Figura 35 Il verso della tela pensionata sul telaio interinale mediante le strisce perimetrali

5.1.3. Interventi sugli strati pittorici

Il fronte dell'opera è stato velinato con carta giapponese (grammatura 12) usando come adesivo la colla di coniglio, diluita in proporzione 1:13 in una soluzione idroalcolica (Alcol Isopropilico al 10% in acqua). L'adesivo è stato applicato a temperatura ambiente, per permettere un'adesione solo superficiale della velina, senza che la soluzione di colla penetrasse gli strati sottostanti la pellicola pittorica.

Sul fronte velinato, si è proceduto poi alla fase di appianamento delle scaglie di colore, mediante apporto di umidità e pressione. La tela è stata posta in camera di umidificazione (U.R. 85%) per circa 15 ore, in modo che l'umidità permeasse tutti gli strati. Si è proceduto poi alla stiratura controllata per appianare le scaglie di colore sollevate.

Sono seguite poi le fasi di svelinatura con acqua tiepida e di lavaggio della superficie frontale dai residui della soluzione di velinatura.



Figura 36 La camera di umidificazione

5.1.4. Test di pulitura

Una volta completato il restauro del supporto, si è proceduto con la scelta delle operazioni riguardanti gli strati superficiali del fronte del dipinto.

Dati il forte imbrunimento e l'ingiallimento della superficie, che non permetteva più la lettura delle figure e delle cromie dell'opera, nonché l'aspetto estremamente lucido dovuto alla sovrapposizione di molti strati di vernici e beveroni ottocenteschi, si è scelto di liberare la policromia originale asportando tutte le superfetazioni.

Per questo, è stato innanzitutto effettuato un test con miscele di solventi organici (Test di solubilità³⁵) al fine di individuare la minima Fd efficace in grado di agire su una superficie così complessa. Dopo varie prove, è stato infine individuato l'Acetone. Per aumentare l'azione pulente del solvente si è scelto di addensarlo in un Solvent Surfactant Gel che all'azione del solvente aggiunge la presenza di un tensioattivo³⁶, di un addensante³⁷ con proprietà disperdenti e che permette di migliorare l'aderenza con la superficie dell'opera, allungando i tempi di contatto.

La pulitura della metà superiore dell'opera è stata eseguita in tal modo, applicando il gel per mezzo di una velina in carta giapponese, per fare in modo che non rimanessero residui sulla superficie.



Figura 37 La pulitura superficiale mediante Solvent Surfactant gel, con velina interposta

³⁵ E. SIGNORINI - P. CREMONESI. L'uso dei solventi organici neutri nella pulitura dei dipinti: un nuovo Test di Solubilità, Progetto Restauro, Il Prato, Padova 2004, 31, pp. 2-15.

³⁶ Il tensioattivo usato in questo caso è l'Ethomeen® C-25, prodotto cationico (amminico).

³⁷ L'addensante è il Carbopol®, gelificante poliacrilico di natura acida, ad alta viscosità, neutralizzato dalla alcalinità del tensioattivo.

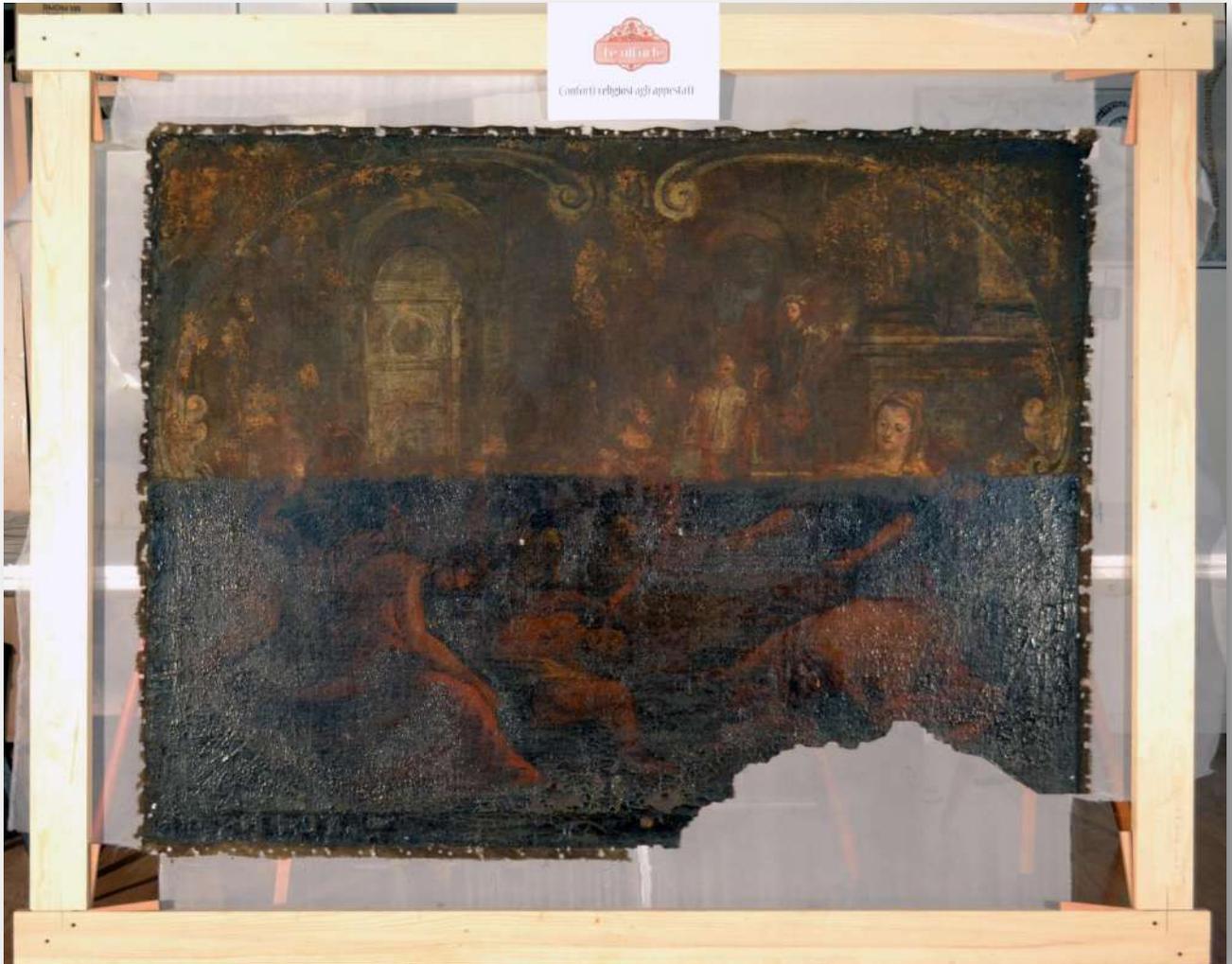


Figura 38 L'opera a metà pulitura: il recto

6. Sperimentazione del metodo di deacidificazione

6.1. Preparazione della fase sperimentale

La fase sperimentale delle soluzioni deacidificanti è stata preceduta dalla preparazione della tela a ricevere tali prodotti.

Infatti, perché le soluzioni basiche possano svolgere adeguatamente la propria funzione, arrivando alle fibre, è necessario che il filato sia libero dalle impurità sul retro e che, sul fronte, non vi siano sostanze che possano interagire con i solventi usati per solubilizzare i prodotti deacidificanti.

6.1.1. La pulitura del fronte

La pulitura della superficie dipinta è stata affrontata, in una prima fase, applicando un Solvent Surfactant Gel di Acetone, con l'aiuto di un foglio di carta giapponese tra il gel e l'opera, con un tempo di impacco di 10-15 minuti. Il solvente addensato è stato in grado di far rigonfiare tutti gli strati di vernice contemporaneamente e l'azione del solvente libero ha permesso la loro rimozione.

Si è però constatato che l'alta polarità dell'Acetone (Fd 47) ha avuto la capacità di intaccare anche lo strato al di sotto della pellicola pittorica: tramite l'azione meccanica del tampone imbevuto di Acetone si asportava leggermente anche la pellicola pittorica.

Si è pertanto scelto di cercare un metodo differente per rimuovere gli strati superficiali, in modo da agire per gradi, rimuovendo uno strato alla volta.

Osservando nuovamente la superficie alla luce UV, si è constatato come la sua fluorescenza risultasse opacizzata, come se vi fosse qualcosa al di sopra degli strati di vernici. L'ipotesi è stata confermata dal test acquoso di solubilità, che ha permesso di individuare una miscela in grado di rimuovere il solo strato che ottundeva la fluorescenza sottostante.

La formulazione ottimale è risultata essere una emulsione O/W formata da una soluzione tampone a pH 9 con EDTA, addensata con Gomma Xantano³⁸ e contenente il 10% di Alcol

³⁸ La gomma xantano è in grado di agire da emulsionante, permettendo la formulazione di emulsioni prive di tensioattivo contenenti fino al 20% di solvente immiscibile in acqua (Wolbers).

Benzilico. Le caratteristiche chimiche di tale miscela hanno fatto presupporre il fatto che lo strato più superficiale sia costituito da una vernice sintetica da barca (flatting).

Utilizzando tale miscela, dunque, si è potuto liberare una porzione della superficie dell'opera: la minore lucidità superficiale e una fluorescenza UV più accesa rispetto all'area circostante hanno confermato l'asportazione di tale strato.



Figura 39 La superficie dopo il primo passaggio di pulitura. Luce visibile, 50X



Figura 40 La superficie a pulitura ultimata. Luce visibile, 50X

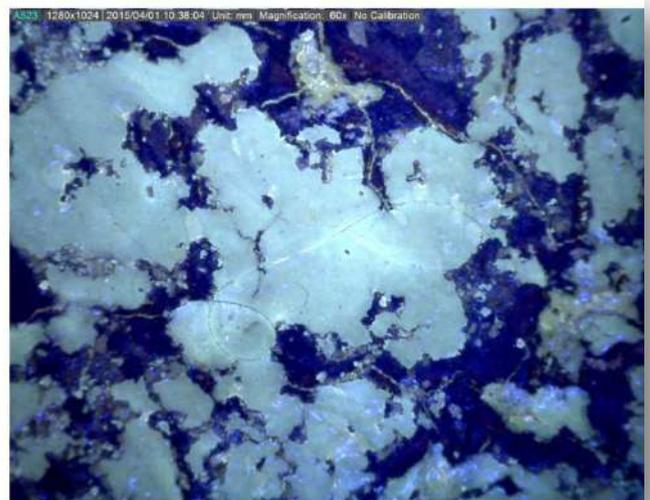
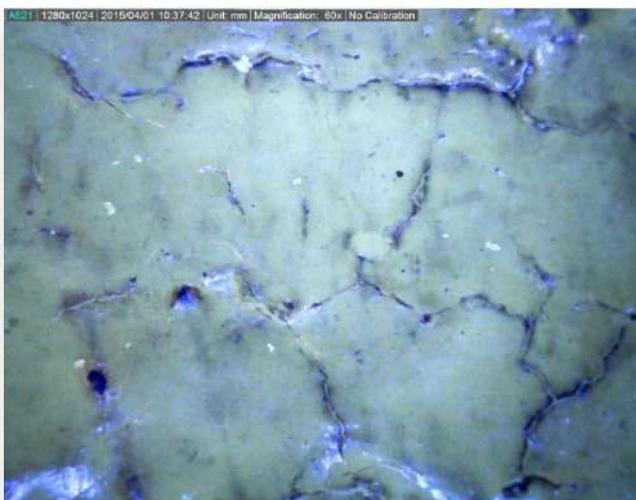


Figura 41 Alla luce UV si nota bene il cambiamento di fluorescenza e la parziale rimozione del flatting prima e dopo la pulitura.

Successivamente si è trattato di rimuovere gli strati sottostanti. Testando nuovamente le soluzioni del test acquoso, si è potuto riscontrare come il pH acido (5.5) agisse sulla superficie in modo più efficace del pH neutro o delle soluzioni basiche. L'azione, però, era molto blanda e non permetteva di procedere abbastanza rapidamente per proseguire con le operazioni successive. Pertanto, si è scelto di verificare l'azione delle miscele del test solventi, mantenendo una polarità più bassa di quella dell'Acetone (Fd 47). La miscela più adatta individuata è stata LE2, una soluzione di Ligroina ed Etanolo 80:20, avente Fd 85, quindi maggiormente apolare rispetto all'Acetone. Per intensificare l'azione della miscela, aggiungendo le proprietà tensioattive e mantenendo comunque la controllabilità delle operazioni, si è scelto di fare un Solvent Surfactant Gel con 80 mL di White Spirit D40 Denaturato (miscela di idrocarburi alifatici con intervallo di ebollizione 145-250°C, contenente una percentuale variabile di aromatici³⁹) e 20 mL di Alcol Isopropilico Denaturato⁴⁰. Il gel, lasciato agire per 10 minuti sulla superficie, è stato poi asportato a secco con un tampone di cotone, mentre i residui sono stati eliminati in fase di lavaggio con una soluzione di Alcol Isopropilico al 20% in White Spirit. Si è scelto di procedere con il lavaggio mediante questa miscela avente la stessa polarità del gel in modo da non bloccare l'azione di pulitura: si è verificato, infatti, che una soluzione di lavaggio a polarità inferiore, infatti, avrebbe fatto ridepositare il materiale rigonfiato.

Gli strati superficiali, rigonfiati agendo con il Solvent Surfactant Gel, sono stati assottigliati meccanicamente a bisturi e un'ulteriore applicazione del gel ha permesso la completa asportazione. Il monitoraggio eseguito mediante l'ausilio della luce UV durante tutte le fasi della pulitura ha confermato la completa eliminazione degli strati di beverone dalla superficie.



Figura 42 Lo stesso particolare prima della pulitura. A sinistra: luce visibile. A destra: luce UV

³⁹ Scheda tecnica e di sicurezza da pag. 111. Rivenditore CTS. CAS n°64742-48-9.

⁴⁰ Scheda tecnica e di sicurezza da pag. 111. Rivenditore CTS. CAS n°67-63-0.

La superficie così liberata sul fronte ha permesso di svolgere le operazioni di deacidificazione senza il timore che i prodotti usati sul retro potessero intaccare gli strati sensibili sul fronte.



Figura 43 Lo stesso particolare a luce UV prima, durante e dopo la pulitura

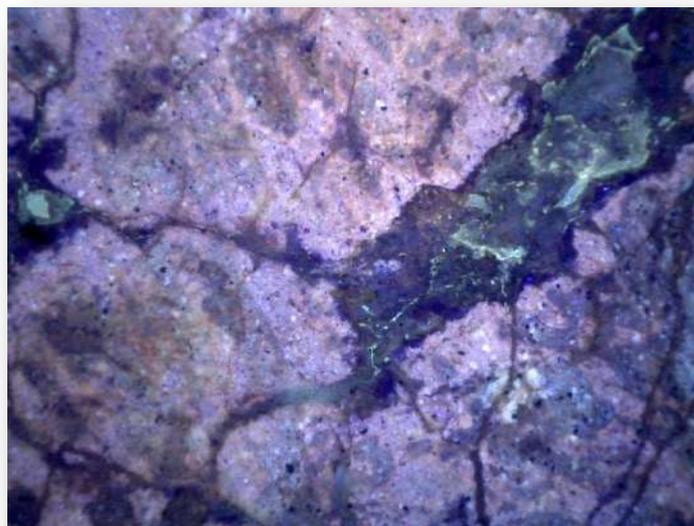
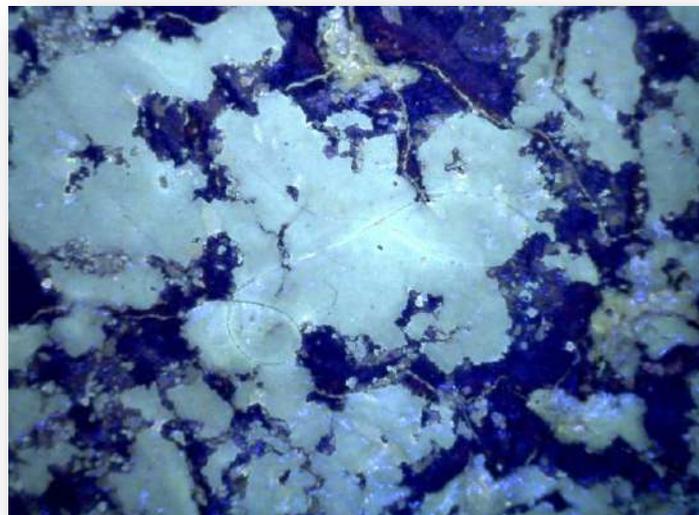
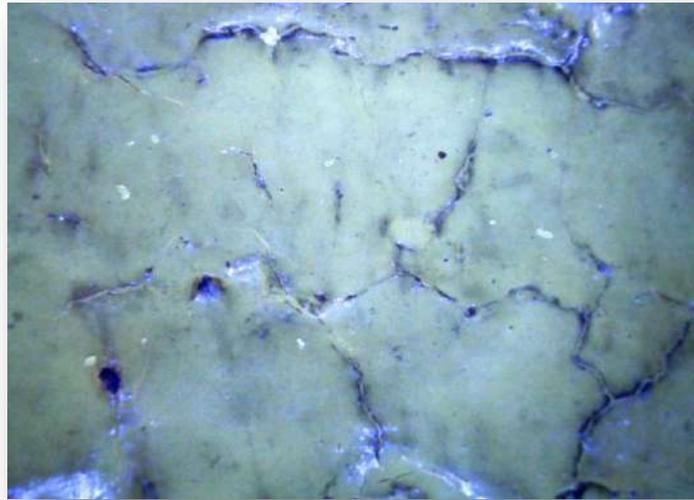


Figura 47 Ingrandimento al Dinolite della superficie pulita, 50X a luce UV.

Dall'alto: prima, durante e dopo la pulitura



Figura 44 Il recto dell'opera a luce UV, prima e durante la pulitura. Si noti il tassello rettangolare a sinistra.



Figura 45 Il recto dell'opera a luce visibile



Figura 46 Il tassello di pulitura a luce visibile e a luce UV

6.1.2. La pulitura del retro

La pulitura del retro, già effettuata in fase di sfoderatura, aveva lasciato residui della colla pasta usata per l'incollaggio della tela di rifodero. Lo scopo dell'ulteriore pulitura è stato quello di rimuovere tutti i residui e liberare il più possibile le fibre della tela, perché fossero in grado di assorbire bene le sostanze deacidificanti.

Per questo, si è scelto di applicare una soluzione in grado di apportare umidità e calore (indispensabili per rimuovere la colla pasta) in modo controllato: acqua addensata con Agar-Agar⁴¹ al 4%, applicata a caldo, a pennello. Si è scelto di applicare il gel rigido non preformato ma semifluido in modo che il gel stesso assumesse, in fase di raffreddamento, la forma della tela, seguendo perfettamente l'andamento del filato. In questo modo la fibra è stata ben liberata dai residui dell'adesivo.

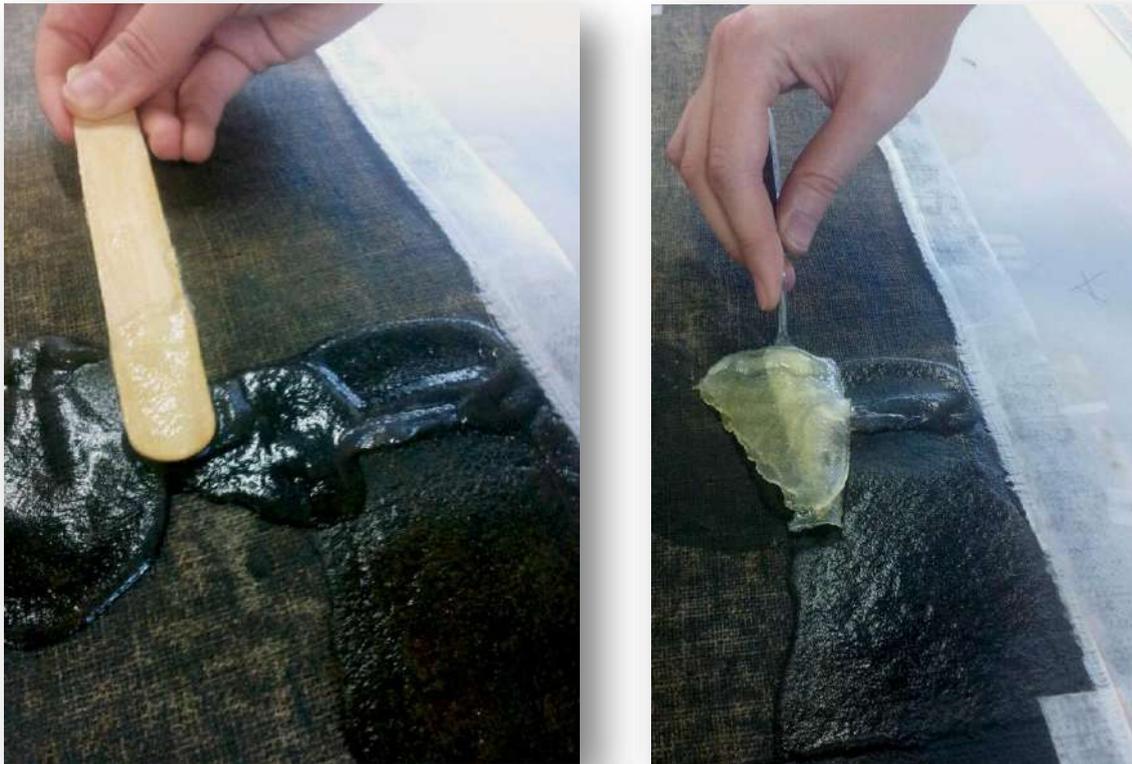


Figura 48 L'applicazione e la rimozione dell'Agar-Agar

⁴¹ Idrocolloide naturale con proprietà addensanti, costituito dal polisaccaride complesso Agar-Agar.

6.1.3. La determinazione dei parametri di controllo: il pH e l'angolo di contatto

La zona pulita sul retro del dipinto è stata suddivisa in settori, ai fini della sperimentazione. Sono state create 6 zone di uguale grandezza, delimitate dal nastro adesivo. In ogni zona sono state rilevate due misurazioni del grado di acidità e una determinazione del grado di bagnabilità della tela.



Figura 49 Il retro dell'opera con le zone di sperimentazione

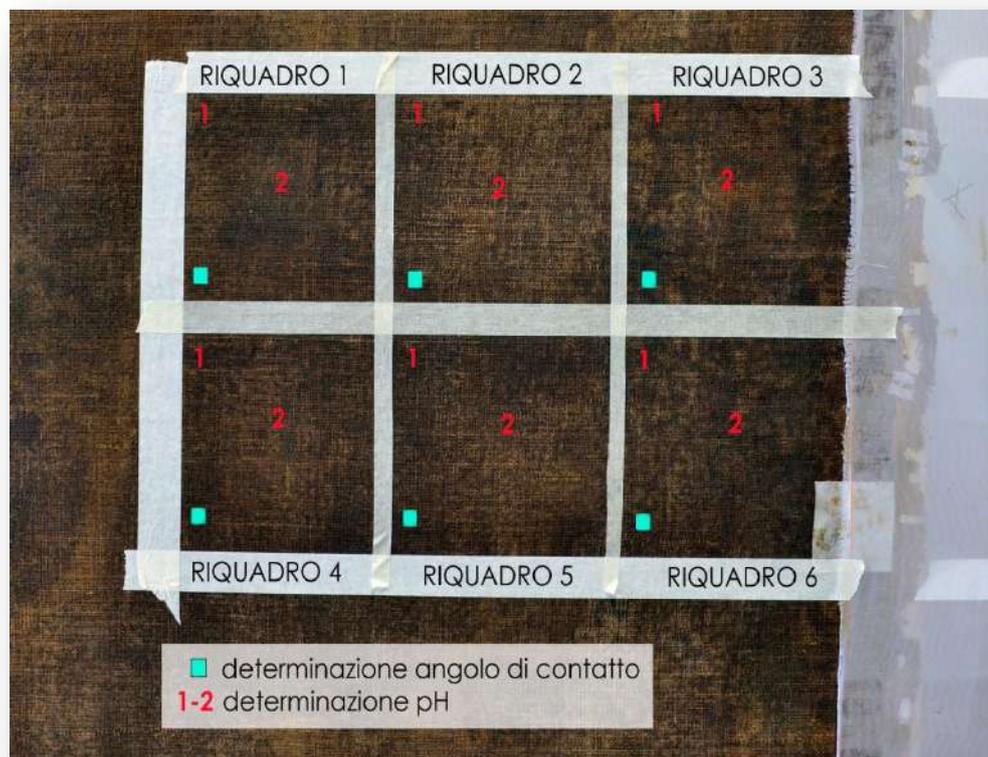


Figura 50 Schema dei riquadri e dei punti di determinazione dei parametri di controllo.

Per la prima misurazione, è stato utilizzato un pHmetro a contatto: una goccia d'acqua distillata posta sulla superficie ha permesso di portare in soluzione le sostanze acidificanti contenute nelle fibre dell'opera e di farne la determinazione potenziometrica. In ogni zona sono stati determinati due pH. La media dei pH dei punti misurati è risultata essere di 4.13.

La determinazione dell'angolo di contatto esprime il grado di bagnabilità. L'operazione consiste nel fotografare una goccia d'acqua distillata appoggiata sulla superficie: maggiore è la tensione superficiale del liquido, minore è il grado di bagnabilità della zona. Se l'angolo di contatto è maggiore di 90° , la superficie è definita non bagnabile e, nella pratica, il liquido penetra nella superficie con difficoltà. Nel caso in esame, l'angolo di contatto medio è di 49.1° , pertanto la superficie ha mediamente un buon grado di bagnabilità.



Figura 51 La misurazione del pH tramite pHmetro a contatto

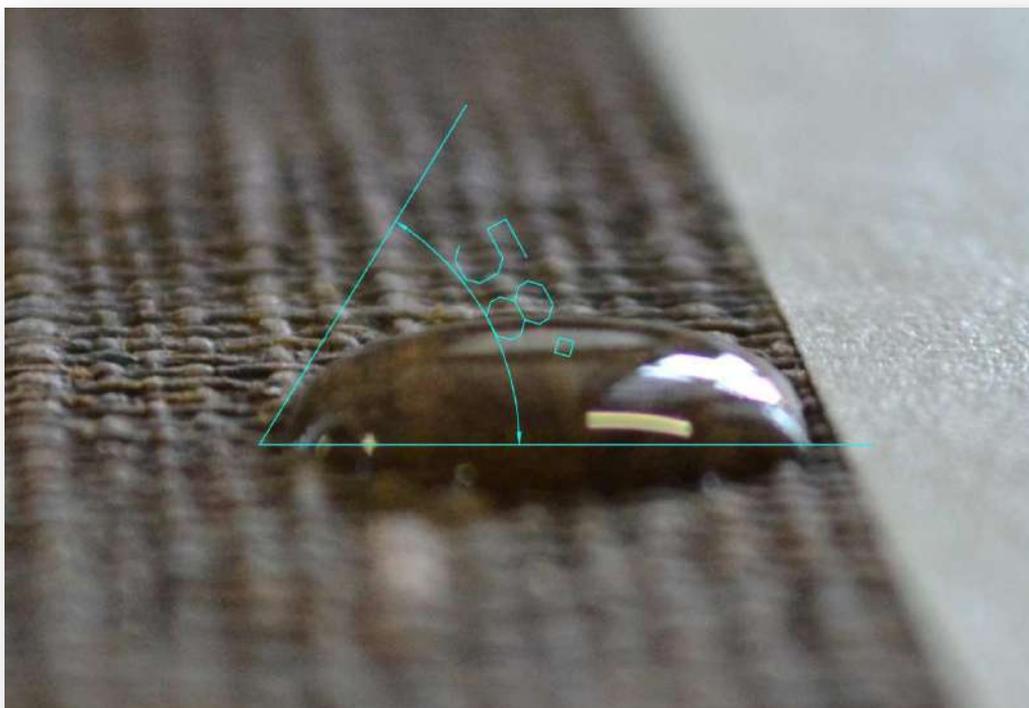


Figura 52 Immagine di una misurazione dell'angolo di contatto.

Tabella dei parametri di controllo PRIMA del trattamento deacidificante

Riquadro	pH zona 1 (± 0.01)	pH zona 2 (± 0.01)	Angolo di contatto
1	3.90	3.82	30°
2	3.94	4.01	42°
3	4.06	4.05	45°
4	4.08	4.17	44°
5	4.36	4.26	62°
6 ⁴²	4.47	4.44	72°

pH medio 4.13

Angolo di contatto medio 49.1°

Dalla tabella risulta evidente come la tela risulti piuttosto acida (pH medio 4.13) e con un buon grado di bagnabilità, evidenziato dall'angolo di contatto ben al di sotto della soglia dei 90°. Questi due dati caratterizzano una tela molto invecchiata, le cui fibre risultano piuttosto compromesse. I numerosi interventi manutentivi dal fronte, le sovracommissioni di vernici, olii e altre sostanze in grado di passare dal fronte al retro e le condizioni ambientali non adeguate del Sotoportego veneziano sono le cause del grave stato conservativo in cui versa il supporto dell'opera.

⁴² Il riquadro numero 6 non è poi stato interessato dalla sperimentazione dei metodi deacidificanti.

6.2. Metodi di deacidificazione applicabili: i criteri di scelta

Le sostanze deacidificanti e i metodi di applicazione scelti per la presente sperimentazione sono stati selezionati in base a diversi criteri.

1. **Semplicità** del metodo: le metodologie previste sono due -soluzione libera e spruzzo e in forma di gel rigido- e i tempi di applicazione sono limitati. I metodi possono essere sperimentati su aree limitate, come in questo caso, ma anche piuttosto estese, senza troppe complicazioni;
2. **Reperibilità** dei materiali: i sali utilizzati, l'Agar-Agar e il Bookkeeper® Deacidification Spray sono regolarmente acquistabili presso i rivenditori autorizzati;
3. **Riproducibilità** anche in laboratori poco attrezzati: non è prevista la necessità di cappe aspiranti né di costose apparecchiature;
4. Bassa **tossicità**: le soluzioni sono diluite in acqua demineralizzata, non tossica.
5. **Compatibilità** con l'opera da trattare: in questo caso sono stati scelti metodi acquosi, dopo aver verificato il buon comportamento dell'opera all'apporto di umidità.

In questa sperimentazione sono state scelte tre sostanze alcaline -Bookkeeper® Deacidification Spray, Propionato di Calcio, Carbonato di Calcio- e due metodologie di applicazione: a spruzzo e mediante gel rigido a contatto con Agar-Agar.

Il Bookkeeper® Deacidification Spray (rivenditore CTS) è un prodotto pronto all'uso, costituito da Ossido di magnesio MgO disperso e sospeso in un materiale inerte liquido: una miscela di solventi fluorurati non tossici.

Il Propionato di Calcio è un sale dell'Acido Propionico (nome IUPAC: Acido Propanoico o Acido Etancarbossilico, CAS n°4075-81-4, Sigma-Aldrich) con formula $C_6H_{10}CaO_4$. Il Propionato di Calcio è molto usato come additivo alimentare (E282), usato come sale in particolare nel pane e in altri prodotti da forno.

Il Carbonato di Calcio (CAS n°471-34-1, Sigma-Aldrich) è un sale carbonatico usato spesso come agente alcalinizzante per supporti cartacei. In questo caso si è scelta l'applicazione a spruzzo in un riquadro e in forma di gel rigido mediante Agar-Agar in un altro riquadro.

L'Agar-Agar (rivenditore CTS) è un polisaccaride complesso, ad alto peso molecolare (100.000-150.000), estratto da alghe⁴³. La principale caratteristica dell'Agar-Agar è quella di dare gel rigidi termoreversibili, all'interno dei quali le molecole delle soluzioni possono muoversi. Essendo in grado di trattenere fortemente l'acqua, il gel può essere usato per l'apporto controllato di umidità.

In questa ricerca sperimentale non sono stati presi in esame i metodi non acquosi, data la forte presenza di materiali sensibili ai solventi sul fronte dell'opera.

6.3. La deacidificazione del supporto tessile

La fase sperimentale dei metodi deacidificanti della presente trattazione ha previsto l'uso di tre sostanze alcaline -Bookkeeper® Deacidification Spray, Propionato di Calcio, Carbonato di Calcio- e due metodologie di applicazione: a spruzzo e mediante gel rigido a contatto.

BOOKKEEPER® DEACIDIFICATION SPRAY

Il prodotto già pronto è stato spruzzato sulla zona da trattare, prima in orizzontale e poi in verticale.



Figura 53 La deacidificazione con Bookkeeper®

⁴³ Vedi scheda tecnica nell'apposita appendice.

In seguito sono state effettuate nuovamente le misurazioni del pH e dell'angolo di contatto, riportate in tabella.

PROPIONATO DI CALCIO IN AGAR-AGAR

Alla soluzione al 3% in acqua di Propionato di Calcio è stato aggiunto il 4% di Agar-Agar. La miscela è stata scaldata a microonde alla potenza di 100W per 1 minuto e 52 secondi, il tempo necessario all'aumento di viscosità della soluzione.

Poi il liquido è stato posto in un contenitore di forma e grandezza adeguati al riquadro. Una volta gelificato, è stato tolto e posto per 30 minuti sulla zona da deacidificare.

Il gel rigido risulta più trasparente del gel di Carbonato di Calcio in soluzione.

Anche per questa zona sono stati nuovamente determinati pH e angolo di contatto.



Figura 54 La "mattonella" di gel rigido col Propionato di Calcio, a contatto con la tela

PROPIONATO DI CALCIO A SPRUZZO

La soluzione al 3% di Propionato di Calcio è stata spruzzata sulla superficie della tela mediante una pistola alimentata da un compressore.

Per evitare di interessare le zone circostanti, si è provveduto a mascherare la tela non coinvolta nell'operazione con un telo impermeabile.



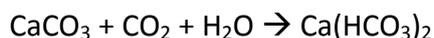
Figura 55 Il riquadro spruzzato con la soluzione di Propionato di Calcio

I risultati della determinazione di pH e angolo di contatto ottenuti a seguito della deacidificazione sono riportati in tabella.

CARBONATO DI CALCIO A SPRUZZO

Con lo stesso metodo usato per il Propionato di Calcio, è stata spruzzata la soluzione di Carbonato di Calcio al 2% in acqua. Sulla superficie asciutta sono state riproposte le misurazioni di pH e angolo di contatto.

Data la scarsa solubilità del sale, la soluzione deacidificante è stata preparata utilizzando acqua con una forte presenza di Anidride Carbonica (CO₂). Il gas ha permesso che, in soluzione, il Carbonato di Calcio diventasse Bicarbonato di Calcio, secondo la reazione:



Il Bicarbonato di Calcio, molto più solubile del rispettivo Carbonato, ha permesso la costituzione della soluzione deacidificante. Una volta spruzzata questa soluzione, la reazione inversa ha prodotto il Carbonato di Calcio che si è depositato sulla superficie della tela:



CARBONATO DI CALCIO IN AGAR-AGAR

Con il medesimo procedimento usato per il Propionato di Calcio, è stata gelificata anche la soluzione di Carbonato di Calcio al 2% in acqua.



Figura 56 La deacidificazione con la soluzione di Carbonato di Calcio a spruzzo

Il gel rigido risultante, meno trasparente rispetto a quello di Propionato di Calcio, è stato posto sul riquadro per 30 min, al termine dei quali, una volta asciugata la superficie, sono stati determinati nuovamente il pH e l'angolo di contatto.



Figura 57 La "mattonella" di gel rigido con carbonato di Calcio, a contatto con la tela

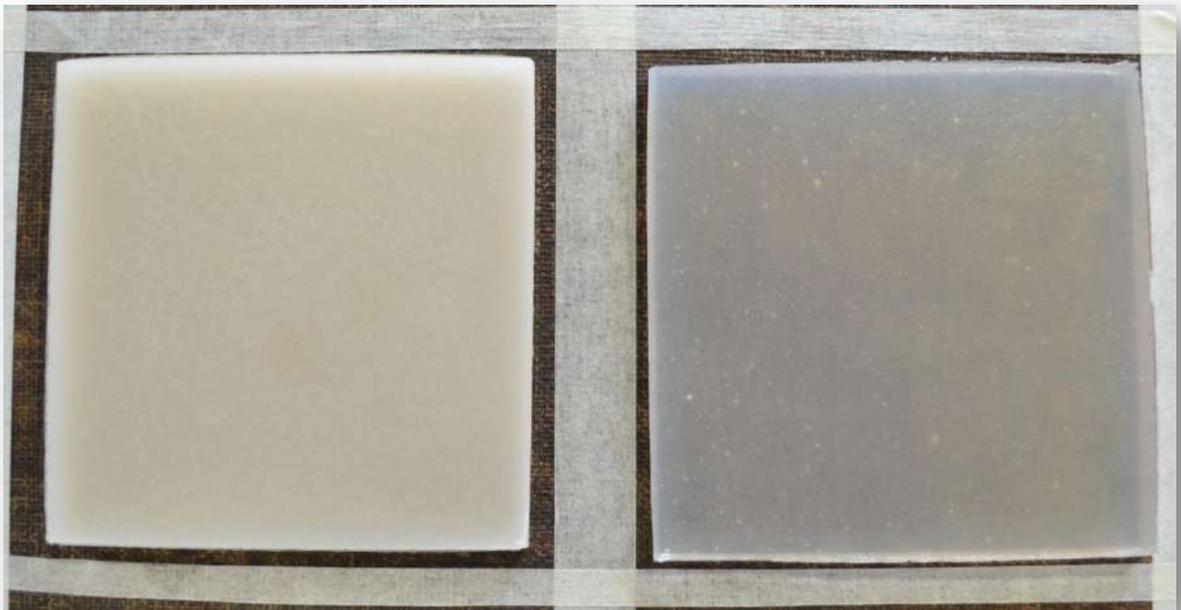


Figura 58 I gel rigidi a confronto: a sinistra, il gel con la soluzione di Carbonato di Calcio; a destra con la soluzione di Propionato di Calcio

Tabella dei parametri di controllo DOPO il trattamento deacidificante

Riquadro	pH zona 1 (±0.01)	pH zona 2 (±0.01)	Angolo di contatto
1 - Bookkeeper® D. S.	4.87	4.85	58°
2 - Propionato di Calcio in Agar-Agar	4.31	4.27	63°
3 - Propionato di Calcio a spruzzo	4.56	4.78	61°
4 - Carbonato di Calcio a spruzzo	4.65	4.76	68°
5 - Carbonato di Calcio in Agar-Agar	4.31	4.27	66°

pH medio 4.56

Angolo di contatto medio 63.2°

7. Discussione dei risultati

Tabella della variazione media dei parametri di controllo

Riquadro	pH medio (± 0.01) prima del trattamento	pH medio (± 0.01) dopo il trattamento	Angolo di contatto prima del trattamento	Angolo di contatto dopo il trattamento
1 - Bookkeeper® D. S.	3.86	4.86	30°	58°
2 - Propionato di Calcio in Agar-Agar	3.97	4.29	42°	63°
3 - Propionato di Calcio a spruzzo	4.05	4.67	45°	61°
4 - Carbonato di Calcio a spruzzo	4.12	4.70	44°	68°
5 - Carbonato di Calcio in Agar-Agar	4.31	4.29	62°	66°

Dalle tabelle precedenti si evince che le sostanze maggiormente in grado di alzare il livello di pH, abbassando quindi l'acidità, sono il Bookkeeper® Deacidification Spray e il Propionato di Calcio.

Il primo, però, è un prodotto creato per la deacidificazione della carta, pronto all'uso e di cui non è conosciuta in modo esatto la composizione. Inoltre, esso lascia sulla superficie uno sbiancamento persistente che, se nel caso del materiale cartaceo non costituisce un difetto estetico, è un dettaglio non trascurabile, invece, nel campo dei supporti tessili. L'utilizzo di tale prodotto per la deacidificazione dei retri delle opere su tela non può non tenere conto di questa conseguenza. Infine, la poca conoscenza della composizione del prodotto non permette di prevedere gli effetti estetici o conservativi che alcune componenti potrebbero avere con l'invecchiamento, nel tempo.

La soluzione di Propionato di Calcio, invece, grazie alle dimensioni ridotte della molecola, è stata facilmente veicolata dal mezzo acquoso all'interno delle fibre, contrastando in parte l'acidità presente. Sia a spruzzo che con l'applicazione in gel, il prodotto ha dato buoni risultati, senza modificazioni estetiche della superficie. Il gel rigido ha agito rilasciando in modo controllato la

soluzione deacidificante sulla superficie delle fibre: in questo modo il filato ha potuto assorbire la soluzione lentamente e continuativamente nel tempo, penetrando più in profondità.

Il Carbonato di Calcio in soluzione dato a spruzzo ha reso la superficie leggermente biancastra, anche se in misura minore rispetto al Bookkeeper® Deacidification Spray. Ai fini della deacidificazione è comunque riscontrabile un lieve innalzamento del pH ottenuto con la soluzione libera, fatto non rilevato, invece, con l'applicazione mediante gel rigido. Il Carbonato di Calcio, infatti, è un deacidificante blando che non risulta adatto per pH così acidi come quelli riscontrati per la tela in esame.

Dato il carattere sperimentale delle prove eseguite, in nessun caso è stata ancora raggiunta la neutralità del pH superficiale né, tantomeno, è stata depositata una carica alcalina di riserva. Dopo aver constatato, in questa sede, quali possano essere le sostanze e i metodi deacidificanti più adeguati per la tela in esame, sarà opportuno verificare, tramite applicazioni successive di soluzione alcalina, l'effettivo trend di innalzamento del pH verso la neutralità. In questo modo si potrà definire la metodologia di deacidificazione da adottare ed applicare per tutta l'estensione della tela.

8. Considerazioni finali

Al fine di eseguire la completa deacidificazione del retro della tela, si consiglia di concludere la pulitura del fronte e del retro dell'opera, liberando la pellicola pittorica originale e le fibre tessili con i metodi descritti nella fase sperimentale e qui sotto riassunti.

La deacidificazione della tela potrà essere compiuta con una soluzione al 3% in acqua di Propionato di Calcio, gelificata con l'aggiunta di Agar-Agar al 4%. L'applicazione della soluzione sottoforma di gel rigido permetterà un maggiore controllo in fase di deacidificazione rispetto alla soluzione di Propionato di Calcio erogata a spruzzo.

Data l'ampiezza della tela, però, non si esclude la possibilità di utilizzare la soluzione in forma libera, mediante l'applicazione a spruzzo: questa metodologia risulta meno laboriosa della gelificazione con Agar-Agar, ma altrettanto efficace ai fini pratici della deacidificazione.

Tabella riassuntiva

OPERAZIONE	PRODOTTO	METODO
Pulitura del fronte per rimuovere il flatting	Emulsione O/W a pH 9 con EDTA, addensata con Gomma Xantano e contenente il 10% di Alcol Benzilico	Applicazione dell'emulsione per 5-10 minuti, rimozione a secco, risciacquo.
Pulitura del fronte per rimuovere i beveroni	Solvent Surfactant Gel di LE2	Applicazione del gel per 10-15 minuti, rimozione a secco e a bisturi, risciacquo.
Pulitura del retro	Acqua demineralizzata addensata con Agar-Agar al 4%	Gel semifluido applicato a pennello
Deacidificazione	Propionato di Calcio al 3% in acqua	Gel rigido con Agar-Agar al 4% o soluzione libera a spruzzo

9. Gli interventi in progetto

A conclusione del progetto di restauro, si intendono enunciare qui le operazioni necessarie alla risoluzione dei problemi strutturali ed estetici dell'opera.

Per quanto attiene all'intervento strutturale, sono possibili due opzioni, da valutare e definire in accordo con la direzione lavori.

Un intervento di minima invasività prevede l'inserimento nella lacuna di un inserto in tessuto e il mantenimento dell'opera non foderata. L'inserto che andrà ad integrare la lacuna dovrà essere scelto di un tessuto con caratteristiche le più simili possibile a quello dell'opera, quanto a: armatura, titolo del filato, densità dell'intreccio e spessore complessivo del tessile. In questo modo si può tentare un incollaggio per testa dei fili, tra integrazione ed originale, preferibilmente seguendo il metodo di Heiber⁴⁴.

Il risultato sarà un ripristino della tessitura, ma non della continuità comportamentale dei filati e, quindi, del supporto tessile com'era prima dell'interruzione del tessuto. Qualsiasi risarcimento è condizionato proprio da questa interruzione insanabile dei fili, determinando comunque, per quanto bene sia fatto il lavoro, un comportamento anomalo della zona lesionata. La scelta dell'adesivo è altrettanto importante, oltre che per le caratteristiche di praticità nell'applicazione puntuale, anche nelle forze proprie di incollaggio, di tenuta e di stabilità nel tempo. Queste, insieme con l'eventuale rinforzo posto sul retro, dovrebbero, nel sistema inserto-incollaggio-rinforzo, creare una condizione di buona stabilità dimensionale nei cicli di variazione di temperatura e umidità relativa e la sufficiente cedevolezza a vantaggio dell'integrità delle parti originali⁴⁵.

L'intervento di minima ha il vantaggio di limitare l'apporto di nuovi prodotti all'opera, consentendo la lettura della tecnica e dei materiali originali, permettendo nel contempo l'identificazione delle aggiunte dovute alle operazioni di restauro. Per contro, in questo caso la discontinuità venutasi a creare in fase di aggiunta dell'inserto potrebbe deformarsi e rendersi

⁴⁴ W. HEIBER, *Riparazione di strappi e deformazioni dei supporti tessili nei dipinti*. Atti secondo congresso internazionale del Cesmar7 "Minimo intervento conservativo nel restauro dei dipinti" Thiene (VI) 2004, Padova, il Prato 2005.

⁴⁵ M. CIATTI (a cura di), *Dipinti su tela: problemi e prospettive per la conservazione*, giornata di studio, Ferrara, 1 aprile 2006, Saonara (Padova), Il Prato, 2007, p 107.

visibile nel tempo. Per questo è importante scegliere materiali di restauro il più possibile reversibili, in grado di permettere la rimozione e il rifacimento dell'inserito in caso di necessità.

Concluso il risanamento del supporto tessile, si potrà provvedere al montaggio di strisce perimetrali (edge lining) lungo tutti i bordi del dipinto, in vista del tensionamento sul telaio definitivo.

Un'altra tipologia di intervento, forse più invasiva ma che pone l'attenzione sul raggiungimento di altri obiettivi, prevede, invece, al termine del risarcimento del supporto tessile, l'applicazione dell'opera su un supporto ausiliario, la foderà, per poter ovviare alla fragilità del collegamento testa-testa, in una lacuna di tessuto ampia come in questo caso, e alla possibile formazione di deformazioni dell'opera in corrispondenza di tale giunzione. Si propone di foderare la tela con materiali sintetici, perché meno invasivi e più rimuovibili in caso di necessità. Essi sono, inoltre, meno soggetti a cambiamenti dimensionali in seguito alla variazione dei parametri ambientali, rispetto ai materiali delle foderature tradizionali.

L'opera così rinforzata potrà essere tensionata sul proprio telaio, una volta che questo sia stato pulito superficialmente (mediante una soluzione di acqua e tensioattivo) e preventivamente trattato contro attacchi biologici. Inoltre, per rinforzare il telaio e fare in modo che il dipinto non subisca nuovamente il formarsi dell'impronta dei regoli, qualora dovesse rilassarsi in seguito ai cambiamenti ambientali, si prevede l'applicazione di un regolo areatore sul fronte del telaio, a contatto con la tela, e di una traversa rompitratta di sezione adeguata al telaio, che non ne permetta la deformazione.

Il telaio così modificato sarà il grado di svolgere in modo adeguato la funzione di sostegno dell'opera. Sarà, dunque, possibile affidare il tensionamento del dipinto ad un sistema non vincolato al telaio, costituito da molle di adeguata forza in grado di assecondare i movimenti della tela, in base ai cambiamenti termoigrometrici dell'ambiente di destinazione dell'opera.

Una volta portata a compimento la pulitura della superficie pittorica, con la rimozione delle superfetazioni mediante il metodo precedentemente descritto⁴⁶, verrà impostato l'intervento di integrazione materica e pittorica del colore. Si tratterà di valutare l'entità delle lacune della pellicola pittorica: gli strati pittorici originali sono piuttosto lacunosi e interessati da una grande

⁴⁶ Vedi paragrafo 6.1.1 *La pulitura del fronte* del presente lavoro.

quantità di ritocchi ed interventi manutentivi condotti a diretto contatto del supporto, non mancano stuccature che nascondono anche parzialmente la pellicola originale.

Sarà dunque necessario valutare la rimozione delle stuccature sopra livello e di quelle che coprono l'originale, operazione che potrà essere compiuta già durante la fase di pulitura, dato che lo strato sarà ammorbidito dal solvente e l'asportazione risulterà più semplice.

Le reintegrazioni a stucco ben conservate, che non interessano la pellicola pittorica e che risultano adeguatamente livellate, invece, potranno essere mantenute.

E' consigliabile, quindi, una leggera verniciatura intermedia dell'intera opera, al fine di preservare gli strati pittorici originali e di procedere con le operazioni di reintegro materico delle lacune senza il contatto diretto con l'originale.

Le lacune più estese potranno essere colmate con uno stucco costituito da materiali naturali o sintetici, sufficientemente elastici, resistenti e adeguati. Sarà possibile, inoltre, l'intonazione cromatica dello stucco mediante l'aggiunta di pigmenti, per dare un fondo cromatico che aiuti nelle operazioni di reintegro pittorico.

Infine, in accordo con la direzione lavori, si eseguirà la reintegrazione cromatica delle lacune stuccate e delle abrasioni, mediante una tecnica che permetta la riconoscibilità dell'intervento e un uso di colori da ritocco rimuovibili nel tempo.

Riguardo alla reintegrazione cromatica, il dipinto presenta problematiche complesse: il problema della ricostruzione delle forme partendo dai suggerimenti di un tessuto pittorico estremamente frammentato dalle mancanze e molto lacunoso; la questione del livello da ottenere; la questione, di ordine tecnico, del medium da ritocco da utilizzare in un caso di integrazione così abbondante. Saranno fondamentali, in questo caso, il confronto e la discussione delle problematiche con la direzione lavori, per giungere a una soluzione rispettosa dell'originale ma che permetta anche di godere dell'insieme figurativo del dipinto.

La verniciatura finale avrà lo scopo di proteggere l'intervento compiuto, di saturare i colori dell'opera conferendo loro un grado medio di opacità e di fornire una superficie di sacrificio per gli anni a venire.

CONCLUSIONI

Al termine delle argomentazioni per la presente ricerca, è opportuno puntualizzare e ripensare ai motivi e alle conclusioni di questa trattazione.

L'invecchiamento del materiale celluloso, sia esso cartaceo o tessile, porta inevitabilmente con sé processi di degrado e trasformazione delle molecole, con insorgenza di gruppi acidi e cromofori.

Mentre sulla carta gli effetti dell'acidità sono immediatamente percepibili (ingiallimento, imbrunimento, indebolimento strutturale), sui supporti tessili non è altrettanto facile rilevare senza strumentazioni adeguate l'entità del degrado dovuto all'acidità, a causa dei molteplici trattamenti manutentivi che sono soliti subire i dipinti nel corso dei secoli.

Per questo, nell'approcciarsi al restauro di un supporto tessile, è buona norma verificare il grado di acidità delle fibre mediante pHmetro e prevedere, quando possibile, il trattamento deacidificante della tela, valutando a seconda dei casi il metodo applicativo più appropriato.

Nella parte sperimentale di questa ricerca, si è, dunque, cercato di determinare lo stato conservativo del manufatto e di proporre un metodo di pulitura della superficie pittorica il più graduale e controllabile possibile. In seguito, si è determinato il grado di acidità e la bagnabilità del supporto, in vista della sperimentazione sulla tela di sistemi di deacidificazione solitamente riservati ai manufatti cartacei.

Si è potuto osservare come alcuni metodi di deacidificazione in questo caso abbiano determinato lo sbiancamento del supporto (Bookkeeper® Deacidification Spray e soluzione di Carbonato di Calcio a spruzzo), mentre altri (Carbonato di Calcio in Agar-Agar) non hanno dato risultati soddisfacenti in termini di abbassamento dell'acidità. Al contrario, i metodi che implicavano l'uso del Propionato di Calcio (in soluzione libera a spruzzo e gelificato con Agar-Agar) sono risultati essere i più efficaci per l'innalzamento del pH.

La ricerca nel campo della deacidificazione dei supporti tessili è un territorio per molti versi ancora inesplorato, ma con il presente elaborato si auspica di aver dato un piccolo contributo.

RINGRAZIAMENTI



Il migliore riconoscimento per la fatica fatta non è ciò che se ne ricava, ma ciò che si diventa grazie ad essa.

J. Ruskin

Desidero ringraziare innanzitutto la mia relatrice, la professoressa Ilaria Saccani, per la sua grande disponibilità, per la presenza costante durante i mesi di elaborazione di questa tesi e per le enormi quantità di materiale cartaceo e informatico fornitomi attraverso ogni mezzo, dalle mail, a Dropbox, a WhatsApp...facendomi scoprire modi sempre nuovi di comunicare! Per il metodo insegnatomi e per il modo in cui l'ha fatto: poco meno di un'amica, molto più di un'insegnante.

Un doveroso ringraziamento va a tutto il corpo insegnanti dell'Istituto Veneto per i Beni Culturali e ai rappresentanti della Segreteria dell'Istituto, per il percorso formativo e professionale offertomi.

Nulla di grande è stato realizzato nel mondo senza la passione. (G. Wilhelm Hegel)

Ai miei compagni di avventura, in questi 3 anni pieni di risate, di fatiche e di Bellezza. Per la vostra presenza, per le confidenze, le torte, le feste, la tensione degli esami, per gli errori e le soddisfazioni, per le canzoncine inventate, il lavoro affrontato insieme, le gite, i selfie... Per ciò che davvero si può definire Amicizia, GRAZIE.

Ad Elisa e Giovanna, a Laura. Per le persone che siete, per ciò che mi avete insegnato. Senza di voi, non sarebbe mai stata la stessa cosa. GRAZIE.

Infine, GRAZIE alla mia famiglia, roccia dei miei sogni.

Maria Elisa

" Voi siete belle, ma siete vuote", disse ancora. " Non si può morire per voi. Certamente, un qualsiasi passante crederebbe che la mia rosa vi rassomigli, ma lei, lei sola, è più importante di tutte voi, perché è lei che ho innaffiata. Perché è lei che ho messa sotto la campana di vetro. Perché è lei che ho riparato col paravento. Perché su di lei ho ucciso i bruchi (salvo due o tre per le farfalle). Perché è lei che ho ascoltato lamentarsi o vantarsi, o anche qualche volta tacere. Perché è la mia rosa".

Da Il Piccolo Principe, A. de Sain-Exupéry

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- C. ACCIANI, *I supporti artistici in tela: studio delle caratteristiche chimiche strutturali-meccaniche e metodi di riconoscimento delle fibre*, esame di Laboratorio di Chimica del Restauro, Università degli Studi di Roma “La Sapienza”, corso di laurea specialistica in scienze applicate ai beni culturali ed alla diagnostica per la loro conservazione A.A. 2004-2005.
- G. BANIK, P. CREMONESI, A. DE LA CHAPELLE, L. MONTALBANO, *Nuove metodologie nel restauro del materiale cartaceo*, collana I talenti, ed. Il Prato, 2003.
- H. BANSA, *Acqueous Deacidification- with Calcium or with Magnesium?*, RESTAURATOR, ed. Saur, Germania, 1998, consultato al sito <https://www.uni-muenster.de/Forum-Bestandserhaltung/downloads/neutral-bansa3.pdf> (ultima consultazione 01-02-2015).
- J. W. BATY, C. L. MAITLAND, W. MINTER, M. A. HUBBE, S. K. JORDAN-MOWERY, *Deacidification for the conservation and preservation of paper-based works: a review*, 2010, consultato al sito http://www.ncsu.edu/bioresources/BioRes_05/BioRes_05_3_a_Baty_MMHJ_Deacidification_on_Conserv_Paper_Review_972.pdf (ultima consultazione 26-04-2015).
- M. BICCHIERI, *Chimica della cellulosa e metodi di studio della sua degradazione*, in *Libri e documenti*, edizioni della Laguna, 2007.
- T. BOONE, L. KIDDER, S. RUSSICK, *Bookkeeper® for Spray Use in Single Item Treatments*, The Book and paper Group Annual, Volume Seventeen, 1998, consultato al sito <http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v17/bp17-04.html> (ultima consultazione 16-06-2015).
- L. CAMPANELLA, A. CASOLI, M. P. COLOMBINI, R. MARINI BETTOLO, M. MATTEINI, L. M. MIGNECO, A. MONTENERO, L. NODARI, C. PICCIOLI, M. PLOSSI ZAPPALÀ, G. PORTALONE, U. RUSSO, M. P. SAMMARTINO, *Chimica per l'arte*, ed. Zanichelli, 2011.
- P. F. CALVINI, *Il grado di polimerizzazione (DP)*, Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche Naturali, Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie Chimiche per la Conservazione e il Restauro, corso di Chimica dei Supporti Cartacei, appunti di lezione A. A. 2006-2007.
- P. F. CALVINI, *La degradazione acida*, Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche Naturali, Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie Chimiche per la Conservazione e il Restauro, corso di Chimica dei Supporti Cartacei, appunti di lezione A. A. 2006-2007.
- P. F. CALVINI, *Problemi chimico-fisici connessi alla conservazione ed al restauro*, Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche Naturali, Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie Chimiche per

la Conservazione e il Restauro, corso di Chimica dei Supporti Cartacei, appunti di lezione A. A. 2006-2007.

- A. CASOLI, F. ROMAGNOLI, I. SACCANI, F. SAGGESE, *Farnesia Arbor, opera grafica dipinta su carta foderata: dalla caratterizzazione preliminare al trattamento di deacidificazione*, articolo tratto dagli Atti del Convegno “Prima, durante...invece del Restauro – Parma 16-17 novembre 2012”, Il Prato editore, 2013.
- CESMAR7 (a cura di), *La crocifissione di Dro. Un’esperienza di minimo intervento su un dipinto di grandi dimensioni*, Quaderni del Cesmar7, 2, Padova, Il Prato 2006.
- M. CIATTI (a cura di), *Dipinti su tela: problemi e prospettive per la conservazione*, giornata di studio, Ferrara, 1 aprile 2006, Saonara (Padova), Il Prato, 2007.
- M. COPEDÈ, *La carta e il suo degrado*, collana Arte e Restauro - Strumenti, Nardini Editore, 2001.
- C. FEDERICI, L. ROSSI, *Manuale di conservazione e restauro del libro*, Carocci editore, 2006.
- R. GIORGI, L. DEI, M. CECCATO, C. SCHETTINO, P. BAGLIONI, *Nanotechnologies for Conservation of Cultural Heritage: Paper and Canvas Deacidification*, Langmuir, Vol. 18, No. 21, 2002.
- S. HACKNEY, *The Art and Science of Cleaning Paintings*, Smithsonian Contributions to Museum Conservation, numero 3, 2012, consultato al sito <https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/20481/03.Hackney.SCMC3.Mecklenburg.Web.pdf?sequence=1> (ultima consultazione 25-01-2015).
- S. HACKNEY, *The De-acidification of Canvas Paintings*, articolo tratto dagli Atti del Convegno “Prima, durante...invece del Restauro – Parma 16-17 novembre 2012”, Il Prato editore, 2013.
- S. HACKNEY, *Paintings on Canvas: Lining and Alternatives*, TATE PAPERS, TATE’s online research journal, 2004, consultato al sito <http://www.tate.org.uk/download/file/fid/7412> (consultazione del 25-01-2015).
- W. HEIBER, Riparazione di strappi e deformazioni dei supporti tessili nei dipinti. Atti secondo congresso internazionale del Cesmar7 “Minimo intervento conservativo nel restauro dei dipinti” Thiene (VI) 2004, Padova, il Prato 2005.
- S. MARGUTTI, G. CONIO, P. CALVINI, E. PEDEMONTE, *Hydrolytic and Oxydative Degradation of Paper*, RESTAURATOR vol 22, No 2, ed. Saur, Germania, 2001.

- M. MATTEINI, A. MOLES, *La chimica nel restauro. I materiali dell'arte pittorica*, Nardini Editore, 2007.
- M. F. MECKLENBURG, *Meccanismi di cedimento nei dipinti su tela: approcci per lo sviluppo di protocolli di consolidamento*, collana I talenti, ed. Il Prato, 2007.
- F. PERTEGATO, *I tessuti. Degrado e restauro*, collana Arte e Restauro – Strumenti, Nardini Editore, 2001.
- M. F. PICASSO, *La carta: sbianca e materiali di processo*, 22-11-2011. Dal sito internet http://www.metaprintart.info/formazione/tecniche-di-stampa-formazione/461-corso_di_stampa_la_carta_iv_sbianca_e_materiali_di_processo/ (ultimo accesso 02-06-2015)
- C. QUAGLIARINI, *Manuale di merceologia tessile*, edizione Zanichelli, 1992.
- M. RAMIN, H. ANDRES, A. BLÜHER, M. REIST, M. WÄLCHLI, *Paper De-acidification. A comparative study*, Journal of PaperConservation, Vol. 10, No. 3, 2009.
- P. RÜCKERT, a cura di, *La memoria della carta e delle filigrane dal Medioevo al Seicento*, testo di accompagnamento e catalogo della mostra organizzata dal Landesarchiv Baden-Württemberg, Hauptstaatsarchiv di Stoccarda e dalla Österreichische Akademie der Wissenschaften di Vienna, Kommission für Schrift- und Buchwesen des Mittelalters, Stuttgart 2007, consultabile al sito internet http://www.bernstein.oeaw.ac.at/twiki/pub/Main/ProjectExhibitions/bernstein_2007_exhibition_catalog_it.pdf (consultato il 22-03-2015).
- M. P. SAMMARTINO, G. FAVERO, G. VISCO, *I supporti artistici in tela: studio delle caratteristiche chimiche-strutturali-meccaniche e metodi di riconoscimento delle fibre*, Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Corso di Laurea Specialistica in Scienze Applicate ai Beni Culturali ed alla Diagnostica per la loro Conservazione, Indirizzo delle Metodologie Chimiche, A.A. 2004-2005.
- G. C. SCICOLONE, a cura di, *Dipinti su tela. Metodologie d'indagine per i supporti cellulosici*, collana Arte e Restauro – Strumenti, Nardini Editore, 2005.
- S. D. STAUDERMAN, I. BRÜCKLE, J. J. BISCHOFF, *Observations on the use of Bookkeeper® Deacidification Spray for the treatment of individual objects*, The American Institute for Conservation, vol. 15, 1996, consultato al sito internet <http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v15/bp15-17.html> (ultima consultazione del 07-06-2015).

- J. H. STONER, R. RUSHFIELD, *The conservation of easel paintings*, Routledge London and New York, 2012.
- C. YOUNG, *Accelerated ageing of fabric support: is it possible?*, articolo tratto da <https://www.courtauld.ac.uk/people/young-christina/PDF%207%20TCC.pdf> (consultato il 25-01-2015).
- A. ZAPPALA', *La deacidificazione di massa: un intervento conservativo indispensabile per i moderni beni culturali cartacei*, articolo tratto da ARTE – Rivista di Storia e Beni Culturali, Edizioni del Gazzettino, No. 7, 1993.

APPARATO GRAFICO

SCHEDE TECNICHE DEI PRODOTTI USATI