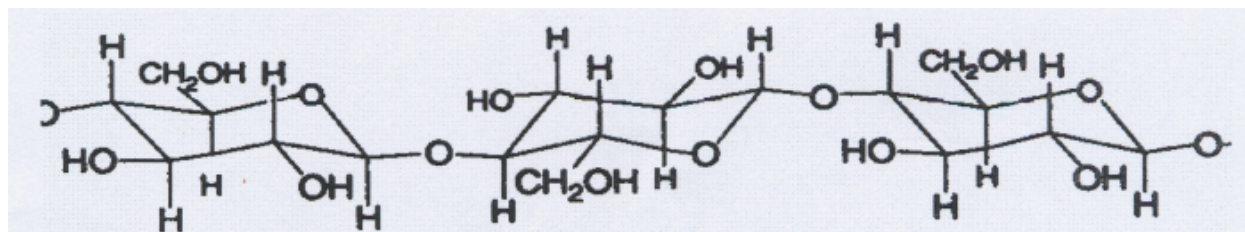


**Universita' Degli Studi Di Roma "La Sapienza"**  
**CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA IN**  
**SCIENZE APPLICATE AI BENI CULTURALI ED ALLA DIAGNOSTICA PER LA LORO CONSERVAZIONE**  
**INDIRIZZO DELLE METODOLOGIE CHIMICHE**  
**A.A. 2004-2005**

**ESAME DI LABORATORIO DI CHIMICA DEL RESTAURO**  
**DR.SA M.P. SAMMARTINO**  
**DR. G. FAVERO**  
**DR. G. VISCO**

I supporti artistici in tela: studio delle caratteristiche chimico-strutturali-meccaniche e metodi di riconoscimento delle fibre

**STUDENTE: ACCIANI CATERINA**



## **Indice**

<b>Introduzione</b>	<b>2</b>
<b>1. I supporti di tela</b>	<b>3</b>
1.1 I supporti sostitutivi della tela	4
1.2 Evoluzione storica dell'uso della tela	5
1.3 Caratteristiche strutturali e meccaniche della tela	7
<b>2. Le fibre tessili</b>	<b>9</b>
2.1 La lana	12
2.2 La seta	13
2.3 Il cotone	14
2.4 Il lino	16
2.5 La canapa	17
<b>3. Riconoscimento delle fibre mediante microscopia ottica</b>	<b>17</b>
3.1 Microstruttura della fibra di lana	19
3.2 Microstruttura della fibra di seta	20
3.3 Microstruttura della fibra di cotone	21
3.4 Microstruttura della fibra di lino	21
3.5 Microstruttura della fibra di canapa	22
<b>4. Saggi microanalitici ( Spot test )</b>	<b>23</b>
4.1 Saggi per distinguere le fibre tessili	24
4.1.1 Saggio alla fiamma	24
4.1.2 Saggio alla soda caustica	24
4.1.3 Saggio all'acido solforico concentrato	25
4.1.4 Saggio all'acido nitrico concentrato	25
4.1.5 Saggio con il reattivo di Schweitzer	25
4.2 Saggi per individuare il grado di lignificazione delle fibre vegetali	25
4.2.1 Saggio iodosolforico (acido solforico e iodio)	25
4.2.2 Saggio alla fluoroglucina	26
4.2.3 Saggio al cloro-ioduro di zinco	26
Tabelle A-B-C	27
<b>5. Metodi di indagine non invasiva: radiografia X</b>	<b>29</b>
<b>6. Metodi di datazione delle fibre tessili</b>	<b>30</b>
6.1 Metodo del radiocarbonio	30
6.2 Racemizzazione degli amminoacidi	31
6.3 Metodo enzimatico SAMT	32
<b>7. Deterioramento delle fibre tessili</b>	<b>33</b>
7.1 Fattori fisici	33
7.2 Fattori chimici	33
7.3 Fattori biologici	34
7.4 Stress meccanici	34
<b>Glossario</b>	<b>35</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>38</b>

## Introduzione

L'impiego della tela come supporto di manufatti artistici è antichissimo, basti pensare che i primi esemplari di tele raffigurate risalgono al I secolo d.C. Nel Medioevo fu ampiamente utilizzata nella preparazione delle tavole per la pittura a tempera e a partire dalla seconda metà del '500 divenne il supporto principe della pittura ad olio, in quanto la tela come supporto elastico dotato di una superficie scabrosa si adattava ad un tipo di pittura rapida e non eccessivamente accurata.

Per tali motivi in questa occasione verranno considerati i supporti di tela, i metodi di caratterizzazione dei parametri strutturali e meccanici della tela/supporto ( studio dinamometrico ) ed infine i sistemi di riconoscimento delle fibre tessili costituenti la tela ( osservazione al microscopio ottico e saggi chimici ).

Ogni opera figurativa indipendentemente dalla tecnica pittorica impiegata è caratterizzata da una struttura articolata in strati: supporto, strato/i preparatorio/i, strato/i pittorico/i, strato protettivo. Nell'immagine sottostante è rappresentata la caratteristica successione dei livelli presenti in un dipinto su tela:



PELLICOLA PITTORICA E STRATO PROTETTIVO  
PREPARAZIONE  
SUPPORTO

## DIPINTO SU TELA

Tra queste strutture la pellicola pittorica è considerata la porzione più nobile, dal momento che l'opera d'arte si manifesta proprio attraverso l'immagine costruita fisicamente dalla compagine dipinta.

Per questo motivo le risorse nel campo del restauro sono state rivolte da più tempo e con maggiore attenzione ai problemi della superficie pittorica, ma la concezione unitaria dell'opera ci impone di porre sullo stesso livello di importanza ogni elemento costitutivo nei confronti dell'altro ed a non prescindere dalla conoscenza del supporto e degli strati di preparazione per una corretta interpretazione del bene.

Per quanto concerne i problemi relativi alla conservazione di un dipinto è fondamentale conoscere le caratteristiche chimico-fisiche, le tecnologie di fabbricazione e le possibili

alterazioni del supporto poiché permane uno strettissimo rapporto di dipendenza tra il suo stato di salute e quello della parte policroma.

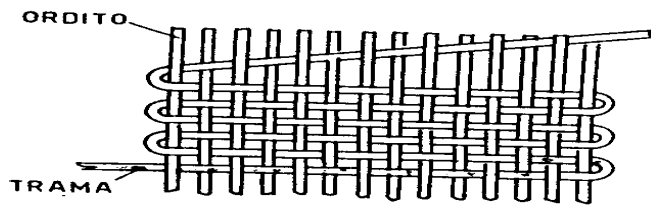
Di conseguenza l'analisi del supporto, resa possibile dai mezzi forniti dalla chimica e dalla fisica, è finalizzata a stabilire la strategia di intervento più adatta al caso specifico, volta a garantire il recupero, la conservazione e la tutela dell'opera.

Lo studio del supporto può inoltre fornire elementi utili per un'indagine sulla provenienza e per una corretta collocazione nel tempo del dipinto in relazione ad uno studio di autenticazione, in quanto alcuni materiali e tecniche di lavorazione sono caratteristiche di un determinato periodo storico ed area geografica.

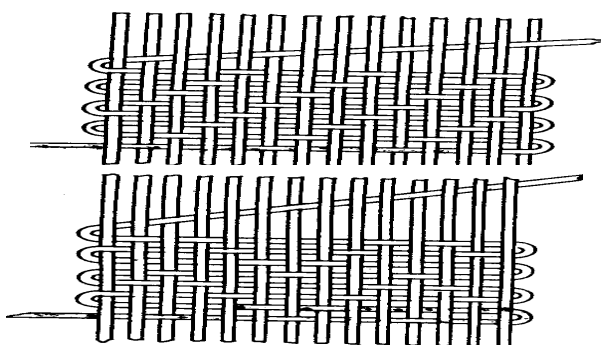
## 1. I supporti di tela<sup>1</sup>

La tela è un tessuto ottenuto tramite la tessitura o intreccio su un telaio di filati provenienti da fibre in massima parte vegetali ( lino, canapa, cotone ), in alcuni casi animali ( lana, seta ) ed eccezionalmente minerali ( argento, oro ).

I due sistemi di fili costituenti il tessuto sono l'*ordito* e la *trama*; l'ordito è costituito da un filo longitudinale parallelo attraverso cui si introduce ad angolo retto il filo lungo e continuo della trama, procedendo da sinistra verso destra. Il modo con il quale sono intrecciati i due sistemi di fili si dice armatura, questa può essere:



? *A tela* : è la più semplice e la più usata da sempre in cui ciascun filo di trama passa alternativamente sopra e sotto i successivi fili di ordito;



? *Diagonale* : la trama passa sopra due o più fili di ordito e uno sotto;

? *A spina di pesce* : deriva dalla diagonale e presenta un caratteristico disegno a zig-zag. Da questa è stata

<sup>1</sup> Baroni S., "Restauro e conservazione dei dipinti. Manuale pratico", Fabbri Editori, pp.40-44, ISBN 88-451-8298-3.  
Rosati C., "Tecniche pittoriche e restauro dei dipinti", Edizioni scientifiche A.Cremonese, Bologna 2001, pp.35-44, ISBN 88-08-11166-0.

ottenuta anche l'armatura a *losanghe*.

In una tela sono caratteristiche la *grana* ( più o meno pronunciata in funzione della maggiore o minore sezione del filo ) e la *densità* ( più o meno fitta a seconda del numero di fili per *cm<sup>2</sup>* ).

Individuando la fibra impiegata, le caratteristiche dei filati sia nella trama che nell'ordito e del tessuto ( tipo di armatura, densità, regolarità, ecc. ) è possibile ottenere informazioni sull'epoca e zona di realizzazione dell'opera.

E' importante conoscere le modalità di preparazione della tela e di tensionamento sul telaio perché influiscono sulle caratteristiche fisico-meccaniche del supporto, quindi sul suo comportamento nel tempo e di conseguenza sullo stato di conservazione del dipinto.

## **1.1 Supporti sostitutivi della tela<sup>2</sup>**

Oltre la tela già prima dell'epoca romana furono utilizzati supporti tratti dalle pelli animali come la pergamena, struttura membranacea proteica il cui componente di base è il collagene. Questo supporto era ottenuto sottoponendo il derma di alcuni animali (capre, agnelli, vitelli ) ad opportuni trattamenti di calcinatura, essiccamento della pelle sotto tensione ed assottigliamento mediante raschiatura.

Il suo impiego, come supporto sia scrittoria sia per disegni e dipinti, raggiunse l'apice nel Medioevo prima della diffusione del supporto cartaceo.

Inizialmente i fogli di pergamena rettangolari erano cuciti uno accanto all'altro ed avvolti in rotoli; questi furono sostituiti nel II secolo d.C dai codici in cui i fogli rettangolari di pergamena, piegati in 2 o più volte erano raccolti e legati. Questi codici favorirono la diffusione del libro illustrato in quanto permettendo l'utilizzo di entrambi i lati del foglio consentivano un risparmio di materiale e una sua migliore conservazione.

Così dall' XI secolo si diffusero anche i taccuini, repertori di motivi iconografici.

La pergamena è stata usata principalmente come supporto per miniatura a tempera ma anche per disegni a pastello, acquerello e a guazzo.

---

<sup>2</sup> Basile E.I. e altri, "I supporti nelle arti pittoriche, storia, tecnica e restauro", a cura di C.Maltese, Mursia, Milano 1990, 2°Vol. pp.49-81.

## 1.2 Evoluzione storica dell'uso della tela<sup>3</sup>

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.

Fig.Foto dei ritratti del Fayoum



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

Altri antichi esempi di pittura su tela li troviamo negli stendardi da processione (dipinti da entrambi i lati) usati a partire dalla seconda metà del '200 sino al '500 come insegne delle varie Confraternite; di analoga origine sono i Tuchelein, dipinti a tempera molto magra su tele di lino sottili e senza preparazione impiegati come stendardi nel Nord Europa nel XV e XVI secolo. La loro natura occasionale ha fatto sì che la maggior parte di essi siano andati perduti.

Per tutto il Medioevo fatta eccezione per gli stendardi, 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.

<sup>3</sup> Baccheschi E. e altri, "Le tecniche artistiche", a cura di C.Maltese, Mursia, Milano 1985, pp.413-427. ISBN 88-425-0882-9.

Basile E.I. e altri, "I supporti nelle arti pittoriche, storia, tecnica e restauro", a cura di C.Maltese, Mursia, Milano 1990, 2°Vol. pp.49-81.

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 soggette 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 ed i 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 rena, 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.

Nel '800 la produzione industriale diviene prevalente su 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.

### **1.3 Caratteristiche strutturali e meccaniche della tela<sup>4</sup>**

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;
- ? Peso o grammatura: indica la pesantezza del tessuto e viene riferito al m<sup>2</sup>;
- ? 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;
- ? Titolo filato: indica le dimensioni del filato ed è dato dal suo rapporto lunghezza/peso;
- ? 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 m;

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

- ? Carico di rottura: è il carico massimo a cui si rompe una striscia di tela sottoposta a trazione;

---

<sup>4</sup> Accardo G.- Vigliano G., "Strumenti e materiali del restauro. Metodi di analisi, misura e controllo", Edizioni Kappa, Roma 1989, pp.109-118, ISBN 88-7890-012-5.



- ? Tenacità: è il rapporto tra il carico di rottura ed il peso della tela (g/den) e consente il confronto delle caratteristiche di tele con peso diverso;
- ? Allungamento a rottura: indice della rigidità della tela viene utilizzato per valutare l'efficienza dei trattamenti di tensionamento ed incollaggio. Espresso in % è dato dal rapporto tra l'allungamento subito dalla tela al momento della rottura e la sua lunghezza iniziale;
- ? Modulo di elasticità o di Young: indica la deformabilità elastica della tela sottoposta a sollecitazioni minori del punto di snervamento. E' definito dalla pendenza della curva sforzo/deformazione nella parte lineare e consente il confronto di tele differenti per struttura, materiali o tensionamento;
- ? 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 (  $T=20^{\circ}\text{C}$ ;  $UR=65\%$  ) 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.

Il *dinamometro*<sup>5</sup> è lo strumento base per lo studio del comportamento meccanico dei materiali; le prove dinamometriche consistono nella misura, mediante estensimetri, della deformazione elastica indotta sui provini dalle sollecitazioni condotte per trazione o compressione.



*Fig. Foto Dinamometro*

Il dinamometro, strumento per la misurazione delle forze, è costituito da una molla con una scala graduata in newton. Poiché secondo la legge di Hooke, la deformazione elastica di una molla è proporzionale alla forza applicata, una misura dell'allungamento  $x$  fornisce indirettamente una misura della forza  $F$ ,

$$F = k \cdot x .$$

La sensibilità del dinamometro dipende dalla costante elastica  $k$  della molla: con piccoli valori di  $k$  si ha un dinamometro più sensibile; invece per grandi valori di  $k$  il dinamometro è meno sensibile.

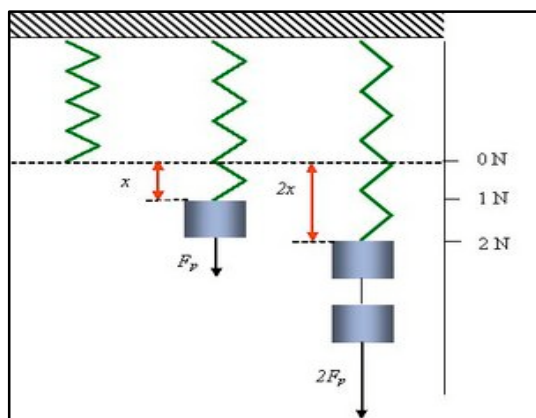


Fig. Funzionamento del dinamometro in base alla legge di Hooke

## 2. Le fibre tessili<sup>6</sup>

Le fibre tessili sono sostanze presenti in natura o prodotte dall'uomo, di aspetto filamentoso o fusiforme che si prestano ad essere filate e tessute, sia per la loro morfologia, sia per le loro caratteristiche di flessibilità ed elasticità oltre che di resistenza e tenacità.

Sono per la maggior parte macromolecole organiche che tendono a legarsi fra loro con legami trasversali, generalmente deboli legami intermolecolari come i legami di Van der Waals, i legami dipolari ed a ponte idrogeno. Questo allineamento porta ad un ordinamento tridimensionale delle catene polimeriche con formazione di cristalliti.

La diffrazione a raggi X ( XRD) di questi polimeri ha evidenziato elementi di simmetria relativi ad un certo grado di cristallinità, con zone cristalline inglobate in zone amorse.

La cristallinità e l'orientamento delle catene polimeriche influenzano le caratteristiche meccaniche delle fibre, quali la tenacità e la flessibilità. Le zone amorse della fibra, sono quelle fisicamente più deboli e chimicamente più reattive; infatti sono le zone più solubili, le prime che reagiscono con i reattivi chimici e che interagiscono con i solventi, i punti in cui il colorante attacca e penetra nella fibra tessile.

Una fibra per poter essere impiegata nella lavorazione tessile deve essere solo parzialmente cristallina, poiché una cristallinità troppo elevata, se da un lato fa aumentare la tenacità e la stabilità chimica delle fibre, dall'altro ne rende difficile la

<sup>5</sup> ["HTTP://IT.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/DINAMOMETRO"](http://it.wikipedia.org/wiki/Dinamometro)

<sup>6</sup> Quaglierini C. – Amoroso L., "Chimica e tecnologia dei materiali per l'arte", Zanichelli, pp.187-302.

Mariersberger H.R., "Textile fibres, their physical, microscopic and chemical properties", Matthews, j.Wiley and Sons, NY, Chapman, Sixty Edition. Library of Congress Catalogue Card 54-6538.

tingibilità e ne diminuisce la bagnabilità, la flessibilità e l'allungamento rendendo così la fibra difficile da lavorare.

Le fibre vengono distinte in base alla loro origine in *naturali* e *tecnofibre*.

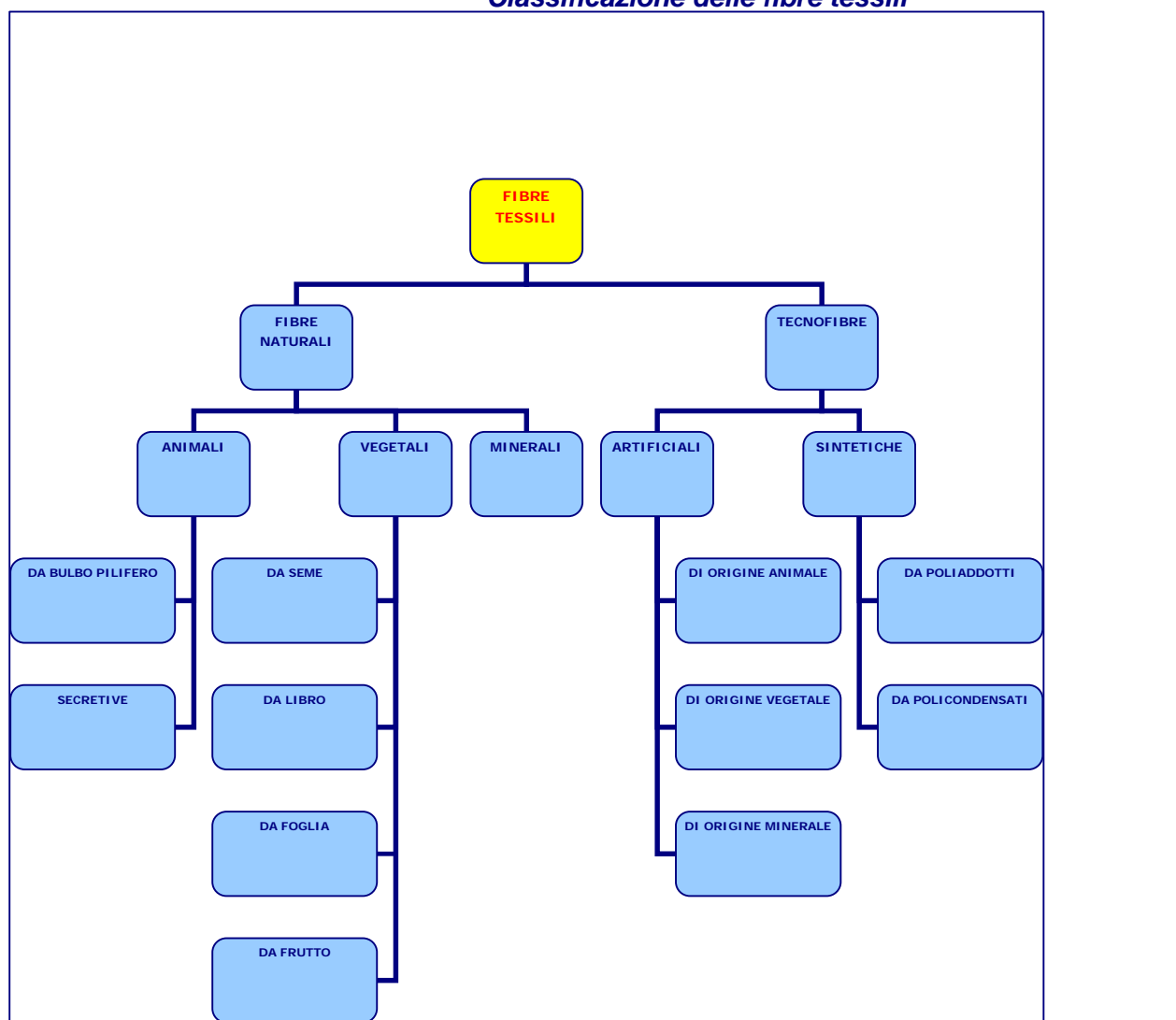
1. Le *fibre naturali* si trovano in natura già sottoforma di filamenti più o meno lunghi e possono essere animali, vegetali, minerali:
  - a. Le fibre animali si distinguono in lane ( costituite dai peli dei velli di pecora, capra, alpaca, lama, cammello ) e sete ( costituite dai filamenti secreti da alcuni insetti nel caso della seta di ragno o da alcuni molluschi bivalvi come il bisso nella seta marina ). Le lane sono composte essenzialmente da una proteina tipica delle parti di rivestimento protettivo degli animali, la cheratina. Invece i filamenti delle sete sono composti da una proteina detta fibroina, i cui fili sono cementati dalla proteina gommosa detta sericina.
  - b. Le fibre vegetali sono fibre cellulosiche che vengono distinte, sulla base della parte della pianta da cui si ricavano, in fibre da seme ( cotone ), fibre da libro o stelo ( lino, canapa, juta ), fibre da foglie e da frutto ( cocco ). Sono tutte composte da cellulosa, in alcuni casi pura ( cotone ), in altri mescolata a sostanze incrostanti quali la lignina, la pectina e le emicellulose ( lino e canapa ).
  - c. Le fibre minerali, come l'asbesto o amianto, sono costituite da silicati complessi contenenti magnesio, calcio e ferro.
2. Le *tecnofibre*, prodotte dall'uomo, si distinguono in :
  - a. Fibre artificiali che sono ottenute da materie prime polimeriche naturali vegetali ( rayon, viscosa ), animali ( caseina ) o filamenti inorganici (metallici, di vetro ).
  - b. Fibre sintetiche, che sono ottenute per reazioni chimiche di polimerizzazione di materie prime non polimeriche, vengono classificate sulla base della famiglia di appartenenza dei polimeri che le costituiscono: poliolefiniche, poliviniliche, poliacriliche, poliammidiche, poliesteri, poliuretaniche ed elastomeriche.

Di norma l'attenzione analitica si rivolge verso le fibre naturali di origine proteica ( lana e seta ) con cui sono stati realizzati i più antichi supporti di tela, e verso le fibre naturali di origine cellulosica quali lino, canapa e cotone con cui sono stati realizzati la stragrande

maggioranza dei supporti dei dipinti antecedenti il XIX secolo per la loro resistenza meccanica.

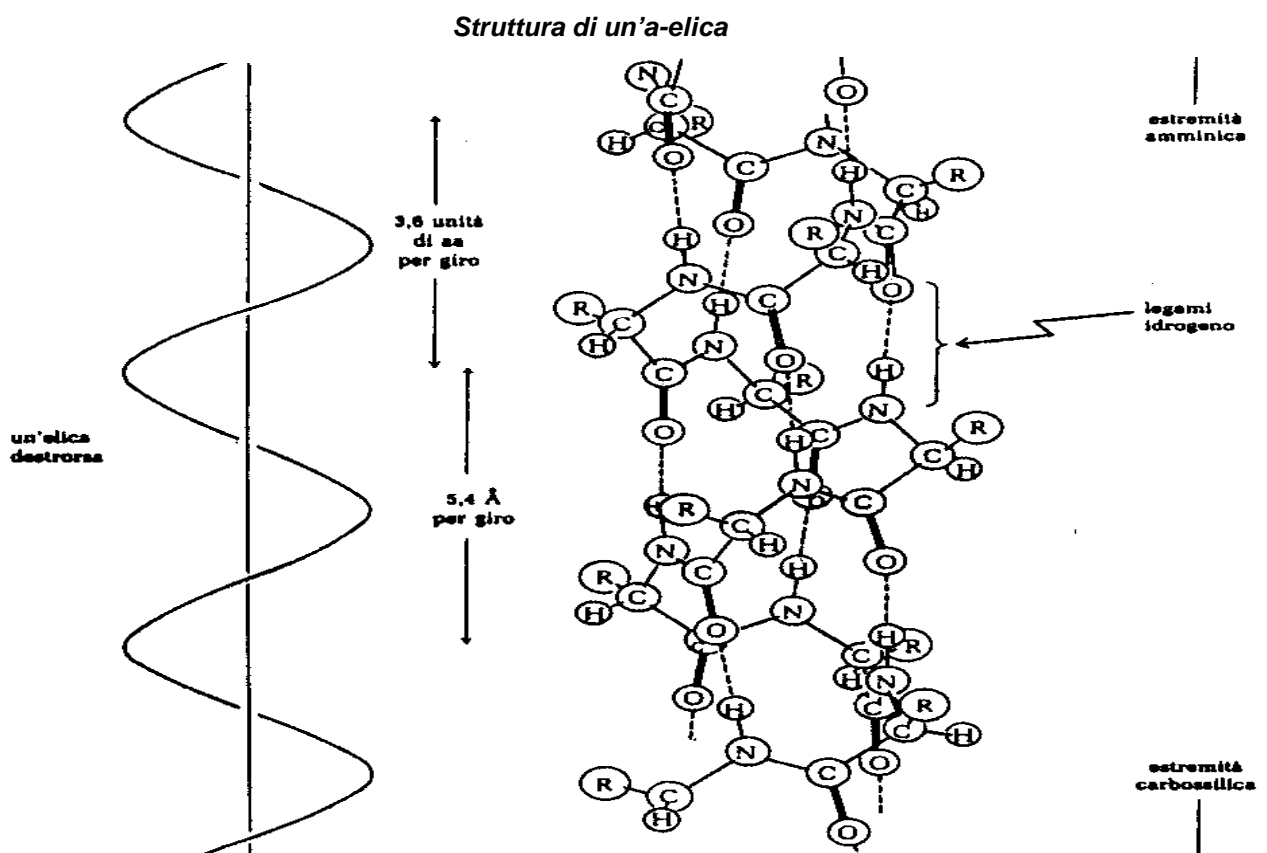
Le indagini sui moderni supporti artificiali e sintetici non vengono praticamente effettuate poiché ritenute non necessarie; infatti trattandosi di dipinti molto recenti, i cui materiali offrono ancora buone garanzie di stabilità, i casi di alterazione sono ancora rari. Per questo sono prese in considerazione le fibre di lana, seta, lino, canapa e cotone.

### Classificazione delle fibre tessili



## 2.1 La lana

La lana è una fibra tessile di origine animale a costituzione proteica derivante dal vello di ovini, pecore, capre e camelidi. E' costituita per l'85% da cheratina nella forma  $\alpha$  o  $\alpha$ -elica (rappresentata nell'immagine sottostante), per il 12% da proteine non contenenti zolfo, per l'1-2% da sostanze lipidiche e la restante % da sali minerali. La cheratina è una proteina contenente zolfo che può essere considerata come una rete di catene polipeptidiche tenute insieme da legami disolfuro degli amminoacidi cisteina ( $\text{HSCH}_2-$ ) e cistina contenenti zolfo nel radicale R.



La prevalenza di amminoacidi basici su quelli neutri ed acidi conferisce alla lana un carattere basico e questo ne determina un'elevata affinità per i coloranti acidi.

Proprietà fisiche: la lana è la più igroscopica di tutte le fibre ( 15% di contenuto in acqua a 24°C e 65% di umidità relativa ) grazie alla polarità dei gruppi peptidici ed alla natura amorfa del sistema polimerico. E' poco resistente al calore, a 130°C comincia ad ingiallire ed a 180°C a decomporsi; è coibente. Se perfettamente secca non conduce elettricità, mentre se umida diviene conduttrice. Ha valori di tenacità bassi compresi tra

0.9 e 1.6 g/den che diminuiscono se la fibra viene bagnata, però è la più elastica tra le fibre tessili ed è anche molto flessibile.

Comportamento chimico: per la sua costituzione proteica la lana ha un comportamento anfotero cioè viene attaccata sia dagli acidi che dalle basi concentrate a caldo.

Gli acidi diluiti non attaccano la lana; gli acidi deboli diminuiscono unicamente il potere di alcune proprietà fisiche, quali la tenacità.

Le basi agiscono in maniera più incisiva e meno selettiva distruggendo i legami polipeptidici ed idrolizzando completamente la cheratina della lana.

Sbiancanti e stabilizzanti (acqua ossigenata, permanganato di potassio, ipoclorito di sodio) sono sostanze ossidanti che se usate senza cautela danneggiano irrimediabilmente la fibra.

E' in acqua che la lana raggiunge la massima stabilità ed inerzia chimica in quanto si raggiunge la neutralizzazione delle cariche.

## 2.2 La seta

La seta è una fibra naturale proteica prodotta come filamento continuo, che può arrivare anche ai 600m di lunghezza, dalla secrezione ghiandolare del *Bombix Mori* ( o baco da seta ).

Nella seta greggia o cruda la fibra è costituita da 2 filamenti affiancati di fibroina (  $C_{15}H_{23}N_5O_7$ :75-77% ) ricoperti da una guaina gommosa di sericina (  $C_{15}H_{25}N_5O_8$  : 22-23% ); inoltre sono presenti sostanze grasse e cerose (2%), sali minerali e pigmenti naturali (0.1%).

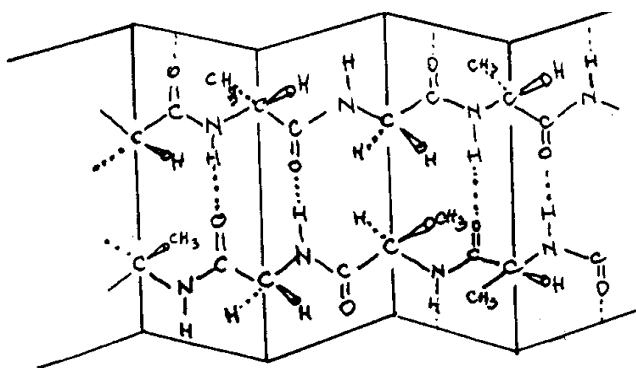


Fig. Struttura della fibroina

A differenza della cheratina della lana, formata da aminoacidi voluminosi (cistina e cisteina) e caratterizzata da una struttura ad elica, la fibroina è costituita da piccoli aminoacidi (glicina,alanina,tirosina) e possiede una struttura  $\beta$  (figura a sinistra).

La sericina, caratterizzata da un'organizzazione strutturale non cristallina, fa sì che la seta sia solubile in acqua calda o in acqua e tensioattivi, tale proprietà viene sfruttata nella lavorazione della seta; nella seta cotta o sgommata la sericina è stata eliminata mediante soluzioni saponose.

Proprietà fisiche: il polimero è cristallino per il 65-70%. E' meno igroscopica della lana (10.5% di contenuto di acqua a 24°C e 65% di umidità relativa). Fino a 130°C non subisce alterazioni, tra 130-150°C ingiallisce, si modifica e diventa fragile, a 170°C si decompone carbonizzandosi. Ha valori di tenacità ( compresi tra 2.8-5.2 g/den ) superiori a quelli della lana e prossimi a quelli del cotone, ma che diminuiscono se la fibra viene bagnata; inoltre la seta cruda è più tenace di quella sgommata.

E' una fibra resistente, meno elastica della lana ma più di lino e cotone ed è relativamente poco flessibile. Ha una resistenza all'usura tra quella della lana e quella del cotone.

L'allungamento relativamente modesto, la buona tenacità, la minore morbidezza e la maggiore resistenza agli alcali della seta rispetto alla lana è dovuto al carattere cristallino della fibra e alla struttura  $\beta$  della fibroina.

E' cattiva conduttrice sia di calore che di elettricità. Alla luce perde tenacità ed ingiallisce.

Comportamento chimico: la seta ha una notevole affinità con alcuni sali metallici; è più resistente della lana all'attacco delle basi che tendono comunque ad indebolirla e ad ingiallirla.

La fibra è attaccata normalmente da agenti ossidanti e da acidi inorganici concentrati, mentre gli acidi forti diluiti non hanno alcuna azione sulla fibroina pur sciogliendo la sericina; gli acidi organici diluiti hanno una buona affinità per la seta e non la danneggiano.

Mostra una maggiore affinità della lana ai vari tipi di coloranti ed ha carattere anfotero.

## **2.3 Il cotone**

Il cotone è una fibra lunga e sottile che si ricava dalla peluria che avvolge i semi di una pianta appartenente alla famiglia delle Malvacee ed al genere Gossipium.

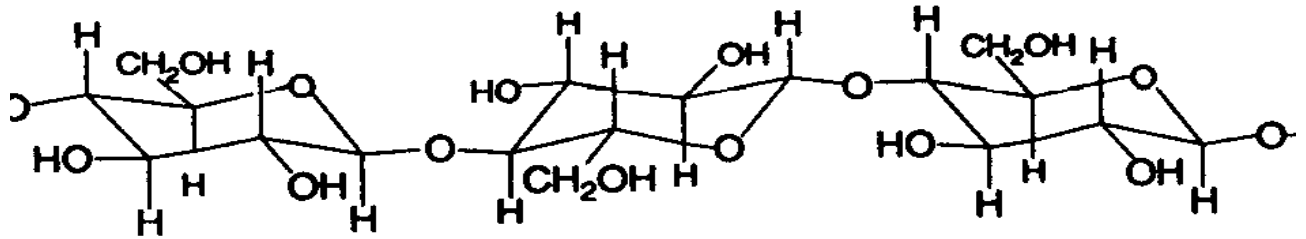
E' costituita all'85% da cellulosa, al 7-8% da acqua, il rimanente da proteine, zuccheri, acidi organici, cera, pectina e pigmenti.

Dopo la lavorazione la fibra è per il 99% cellulosa  $\alpha$  ed emicellulosa  $\beta$  e  $\gamma$ ; il polimero che si forma è cristallino per il 65-70%.

La cellulosa (  $C_6 H_{10}O_5$  )<sub>n</sub> , è un polimero risultante dalla policondensazione di un gran numero di molecole di glucosio (  $C_6H_{12}O_6$  ); questa reazione, che avviene con

l'eliminazione di una molecola d'acqua fra coppie di unità di glucosio adiacenti, porta alla formazione di legami a ponte di ossigeno o legami glucosidici.

Fig. La molecola di cellulosa



Proprietà fisiche: il cotone lavorato è molto igroscopico; la quantità d'acqua trattenuta varia a seconda della lavorazione che ha subito la fibra sia durante la filatura che la tessitura, ma è minore del quantitativo assorbito da lana e seta (a 24°C e 65% di umidità relativa la fibra contiene il 7.3% di acqua, mentre la lana il 15% e la seta il 10.5%).

Il cotone è una fibra antistatica perciò, non trattenendo le cariche elettrostatiche durante le operazioni di filatura e tessitura, non crea i problemi di lana e seta che al contrario devono essere filate in ambienti saturi di umidità.

Presenta una coibenza media, minore a quella di lana e seta ma maggiore di quella del lino.

Nei confronti del calore la fibra rimane inalterata fino ai 100°C, comincia ad ingiallire a 120°C, diventa bruna ed inizia a decomporsi per la degradazione della molecola di cellulosa a 150°C ma si decompone velocemente a 200°C.

E' stabile alla luce ma ingiallisce e perde tenacità per l'esposizione prolungata ai raggi X.

Il cotone è molto tenace ( 2-5.5 g/den ), più della lana ( 0.8-1.6 g/den ) ma meno del lino; la sua tenacità aumenta se la fibra viene bagnata e questa proprietà è attribuita alla natura cristallina del polimero, alla possibilità di formare legami idrogeno tra i polimeri adiacenti ed alla conformazione a spirale delle fibrille.

E' una fibra abbastanza resistente anche se anelastica e poco flessibile.

Comportamento chimico: il cotone viene alterato velocemente dagli acidi inorganici diluiti a caldo mentre gli acidi concentrati lo decompongono sia a caldo che a freddo.

Gli acidi organici non intaccano il cotone, per questo l'acido tannico e l'acido acetico vengono usati nella tintura della fibra, ad eccezione dell'acido ossalico che se concentrato può degradare il cotone.



Gli ossidanti reagiscono dando composti di ossidazione della cellulosa, mentre i riducenti non attaccano il cotone.

E' resistente agli alcali diluiti ma si rigonfia dando alcalicellulose reagendo con gli alcali concentrati.

Il cotone grezzo è idrofobo per la presenza di sostanze cerose che avvolgono la fibra, ma se trattato con soluzioni alcaline perde questo rivestimento divenendo idrofilo.

Il cotone è insolubile nei solventi ordinari ma nella soluzione cuproammoniacale di Schweitzer prima si rigonfia e poi si scioglie.

## 2.4 Il lino

Il lino è una fibra proveniente dal fusto della pianta *Linum usitatissimum* di natura cellulosica multicellulare dall'aspetto cilindrico. E' costituita per il 60% di cellulosa, 15% di emicellulose, 4% di sostanze pectiche, 3% di lignina, 10% di acqua, 2% di cere e grassi, 6% di altre sostanze solubili in acqua. Il sistema polimerico è più cristallino del cotone e dopo la lavorazione è composto al 78-80% da cellulosa.

Proprietà fisiche: è una fibra igroscopica, più del cotone ma meno di lana e seta (12% di contenuto di acqua a 21°C e 65% di umidità relativa ).

Resiste bene al calore, cambia colore a 280°C e comincia a decomporsi a 310°C; ha un'ottima conducibilità termica e come il cotone è una fibra antistatica, cioè non trattiene le cariche elettriche accumulate sulla superficie.

E' una fibra non elastica e molto rigida; è insensibile all'invecchiamento e molto resistente anche grazie ad una tenacità che varia tra i 5 e i 6.1 g/den ed aumenta del 40% se la fibra viene bagnata; questa proprietà è dovuta alla struttura della fibra di lino che è un polimero cristallino lungo e con un numero elevato di legami idrogeno tra polimeri adiacenti.

Comportamento chimico: a differenza del cotone, il lino è più resistente all'azione degli acidi mentre è più sensibile verso gli alcali ed agenti ossidanti ; si scioglie con difficoltà nel reattivo di Schweitzer.

Il lino grezzo, diversamente da quello trattato, non dà luogo a colorazioni ma tende ad ingiallire con il tempo.

## 2.5 La canapa

La canapa è la fibra che proviene dalla macerazione della *Cannabis sativa* della famiglia delle Moracee.

E' costituita per il 70% da cellulosa, il 14% da emicellulosa, il 4% da lignina, il 6% da grassi e cere, il 6% da sostanze solubili ed acqua; nella canapa pettinata la % di cellulosa raggiunge l'80% in quanto è stata privata delle sostanze grasse e molte scorie legnose.

La cellulosa della canapa ha un grado di polimerizzazione prossimo a 2200.

Proprietà fisiche: la canapa è una fibra molto resistente e tenace ( la tenacità è superiore anche a quella del lino ) ma poco elastica e piuttosto rigida. E' antistatica e con una buona conducibilità termica; assorbe e trattiene molta umidità.

Comportamento chimico: la canapa ha le stesse reazioni del lino e del cotone con gli acidi e le basi, ma presentando più incrostazioni di lignina rispetto alle altre fibre, dà una reazione più marcata con la fluoroglucina. La fibra con questo reattivo si colora di rosso, mentre con clorioduro di zinco si tinge di viola.

Se la canapa è grezza con il reattivo iodosolforico si colora di verde-azzurro al centro, di giallo ai lati per la presenza delle sostanze incrostanti; viceversa la canapa digrezzata si colora solo di verde.

Sempre a causa della lignina presente nella canapa grezza, la fibra si scioglie solo lentamente con il liquido di Schweitzer.

## 3. Riconoscimento delle fibre mediante microscopia ottica<sup>7</sup>

La microscopia ottica rappresenta una delle più impiegate tecniche di indagine scientifica, in quanto consente lo studio di strutture materiali altrimenti invisibili ad occhio nudo con ingrandimenti che vanno dai 10 ai 500X, attraverso l'impiego di radiazioni visibili riflesse o trasmesse dalla materia e l'osservazione dell'immagine risultante attraverso un complesso di lenti ( obiettivo ed oculare ).

---

<sup>7</sup> AA.VV., "*Identification of textile materials*", Ed. Textile Institute, Manchester 1985, Seventh Edition. ISBN 0-900739-18-5

Rosati C., "*Tecniche pittoriche e restauro dei dipinti*", Edizioni scientifiche A.Cremonese, Bologna 2001, pp.35-44, ISBN 88-08-11166-0.

Quaglierini C. – Amoroso L., "*Chimica e tecnologia dei materiali per l'arte*", Zanichelli, pp.187-302.

Gainer W., "*Textile laboratory manual :Fibres*", London Heywood Books and American Elsevier publishing CO, New York 1967, Vol.5. Library of Congress Catalogue Card 66-24820.

Per il riconoscimento microscopico delle fibre è necessario prima di tutto allontanare le sostanze estranee usando solventi organici ( etere, benzolo, trielina, ecc.)

Nel caso in cui le fibre siano fortemente inamidate o molto colorate si opera in provetta con una soluzione bollente di carbonato di sodio all'1‰ ; si decanta e quindi si neutralizza con una soluzione di acido cloridrico al 3%. In questo modo la fibra viene completamente decolorata ma per una migliore osservazione microscopica si può provvedere alla colorazione delle fibre mediante un reattivo iodosolforico.

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).

Le fibre artificiali o sintetiche all'osservazione microscopica si presentano estremamente regolari, trasparenti, cilindriche o nastriformi, con leggere striature longitudinali.

Per la determinazione delle fibre vegetali<sup>8</sup> è necessario osservare e registrare i parametri morfometrici principali, tra cui: forma e dimensione delle terminazioni, diametro della fibra, della parete e del lume, tipo di punteggiature, presenza di dislocazioni, tipologia delle striature longitudinali e trasversali, eventuali cellule parenchimatiche, elementi del libro o del legno, cristalli e fitoliti rimasti aderenti.

Per osservare al microscopio ottico, le fibre in sezione trasversale sono necessarie operazioni di fissazione (in soluzione di glutaraldeide al 3%), di inclusione in resine (ad esempio in metacrilato di metile) e di taglio all'ultramicrotomo per ottenere sezioni semifini (1-2µm).

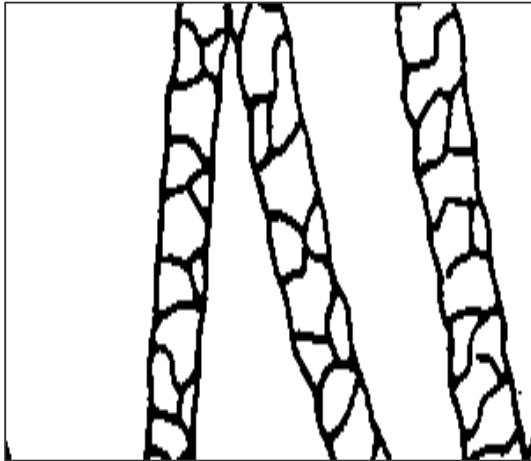
Inoltre lo studio delle fibre potrebbe essere condotto studiando la morfologia delle fibre ad alti ingrandimenti mediante il microscopio elettronico a scansione (SEM); l'osservazione al SEM avviene dopo aver sottoposto il campione alla disidratazione ed alla metallizzazione con oro-platino.

Consideriamo la microstruttura delle fibre di lana, seta, cotone, lino e canapa.

---

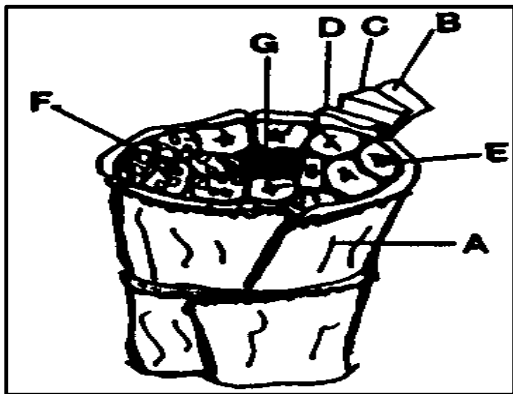
<sup>8</sup> Caramiello R.- Arobba D., "Analisi di fibre tessili di origine vegetale" in Manuale di Archeobotanica. Metodiche di recupero e studio, Franco Angeli, CNR-Progetto finalizzato Beni Culturali, Milano 2003, pp.201-210, ISBN 88-464-4963-0.

### 3.1 Microstruttura della fibra di lana



La fibra di lana se vista longitudinalmente al microscopio ottico ha un aspetto cilindrico arricciato che mostra la presenza di scaglie (fig. sul lato sinistro). Nel senso della lunghezza sono distinguibili 3 parti: punta, stelo o fusto, radice del pelo.

*Fig. Sezione longitudinale della fibra di lana*

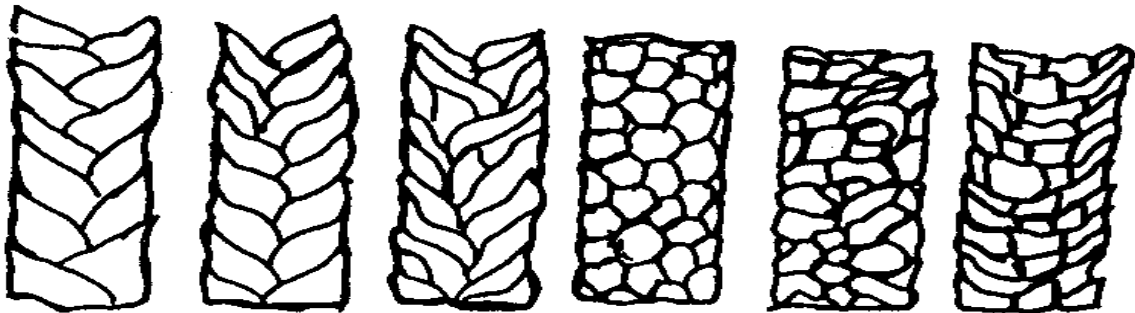


*Fig. Sezione trasversale della fibra di lana*

La microstruttura del fusto è piuttosto complessa e in sezione trasversale sono distinguibili 3 zone concentriche:

1) *Cuticola* cioè lo strato costituito da cellule cheratinizzate embricate tra loro (zona A); queste

scaglie sono tenute insieme da fibrille intercellulari e ricoperte da uno strato impermeabile detto epicuticola (zona B); al di sotto dell'epicuticola si trovano l'esocuticola (zona C) e l'endocuticola (zona D). L'analisi microscopica della cuticola è determinante nella distinzione di fibre di lana simili tra loro; infatti la disposizione delle scaglie è diversa a seconda del tipo di lana;



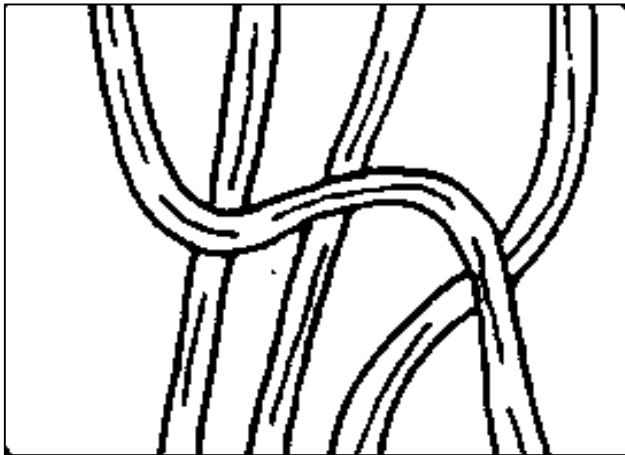
*Fig. Le diverse tipologie di scaglie che avvolgono la fibra di lana*

2) *Cortice o cortex* : costituisce il 90% in peso della fibra ed è formato da milioni di cellule lunghe e fusiformi orto o para corticali completamente cheratinizzate e formate da fasci di microfibrille di cheratina a o ad elica riunite in microfibrille di maggiori dimensioni che costituiscono il paracortice (zona E) e l'ortocortice (zona

F). Contengono nel loro interno residui dei nuclei cellulari di composizione non proteica;

- 3) *Midollo o lumen* (zona G) : situato nella parte interna, presenta una struttura porosa e può non essere presente per tutta la lunghezza della fibra. E' costituito da residui cellulari cheratinizzati di forma poliedrica e con disposizione irregolare.

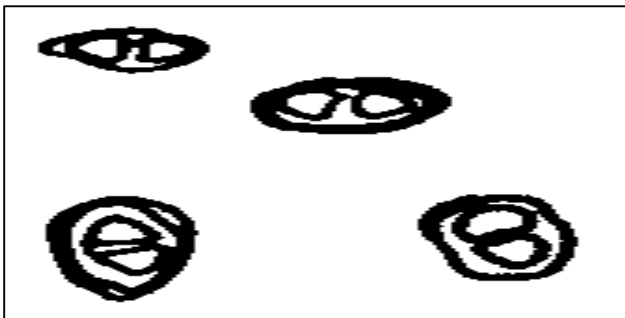
### 3.2 Microstruttura della fibra di seta



La fibra di seta grezza al microscopio ottico (fig. sul lato sinistro) ha un aspetto cilindrico leggermente appiattito ed è formata da 2 fibrille di fibrina unite dalla sericina, che forma una guaina trasparente o leggermente colorata di giallo.

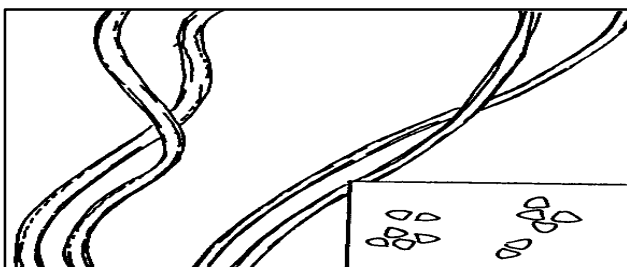
La fibra non è omogenea nel diametro poiché la sericina non è distribuita

uniformemente.



Le 2 bavelle appaiono lisce, senza striature e sottili con un diametro variabile dai 10 ai 22 $\mu$ m; le loro sezioni trasversali sono irregolari, quasi triangolari e con gli angoli smussati.

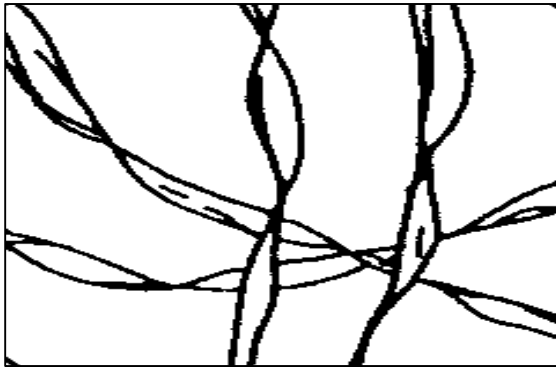
*Fig. Sezione trasversale della fibra di seta grezza*



La seta cotta appare formata da fibrille isolate, omogenee, trasparenti, cilindriche o leggermente appiattite.

*Fig. Fibre di seta sgommata*

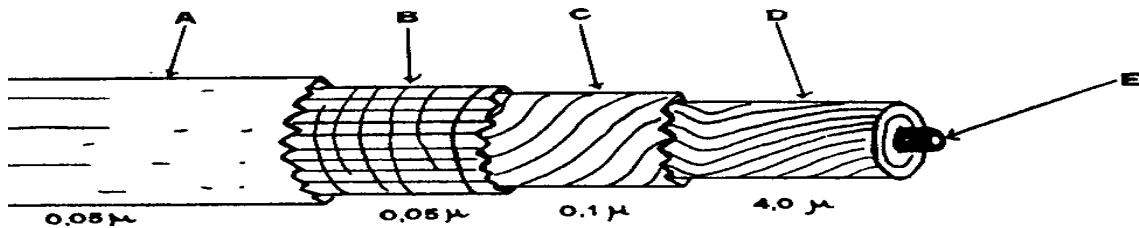
### 3.3 Microstruttura della fibra di cotone



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.

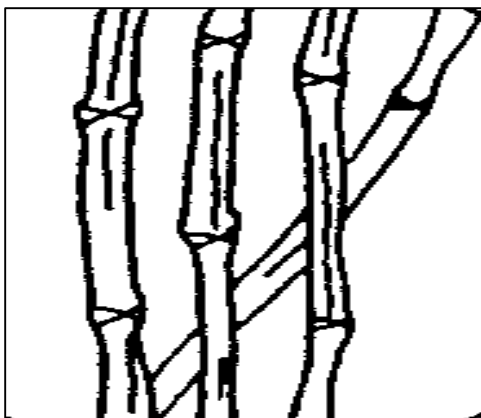
La fibra è monocellulare, nastriforme con circonvoluzioni a spirale e con 2 terminazioni: una a spatola e l'altra strappata e sfibrata.

In sezione trasversale il filamento risulta composto da 4 parti:



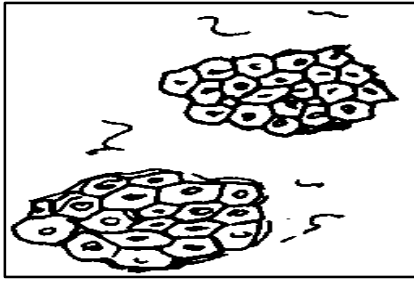
1. *Cuticola* cioè la membrana sottilissima di proteine e sostanze cerose che non appare se non si immerge la fibra nel liquido di Schweitzer (zona A);
2. *Parete cellulare primaria* cioè la struttura a rete disposta trasversalmente all'asse della fibra composta da centinaia di fibrille che si intersecano le une con le altre in modo da formare fasci fibrillari (zona B);
3. *Parete cellulare secondaria* che è costituita da fibrille più piccole (con spessori di 200-300Å) avvolte a spirale intorno all'asse della fibra. Alla base di questa le spirali hanno un senso di rotazione sinistrorso mentre nella zona centrale destrorso. Le fibrille conferiscono tenacità e stabilità alla fibra (zona C e D);
4. *Canale centrale o lume* cioè la parte più interna della fibra. Contiene sostanze non cellulosiche di natura proteica e può presentare succo vacuolare (zona E).

### 3.4 Microstruttura della fibra di lino



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 40μm.



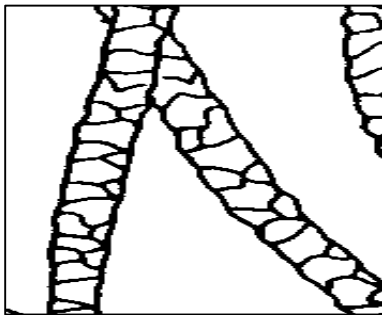
Queste fibre, come nel cotone, hanno una parete cellulare composta da 3 strati con struttura fibrillare a spirale e un lume pronunciato; ma diversamente da quelle del cotone appaiono raccolte insieme con sostanze incrostanti, residui legnosi, membrane parzialmente lignificate ed impurità varie.

Fig. Sezione trasversale delle fibre di lino

All'esame microscopico invece il *lino digrezzato* 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.

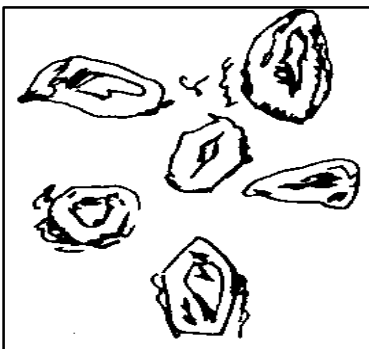
Osservate longitudinalmente le fibre presentano marcate striature trasversali che si incrociano obliquamente ad x e presentano un lieve rigonfiamento a distanza quasi regolare.

### 3.5 Microstruttura della fibra di canapa



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 cm, 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  $\mu\text{m}$ ; 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.



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:

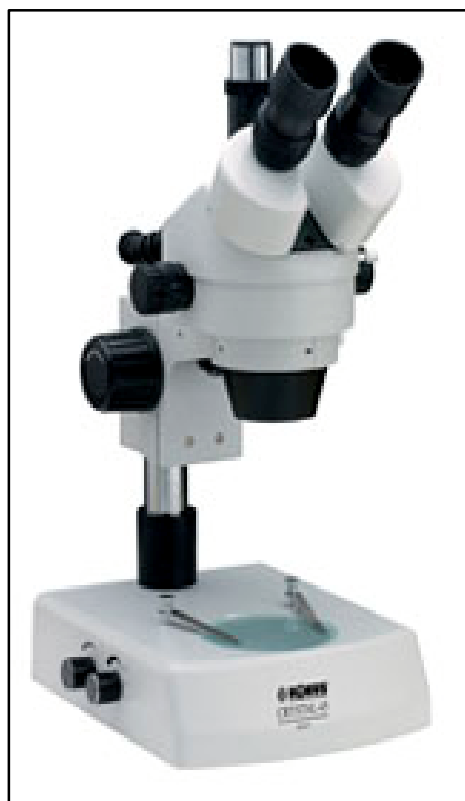
la canapa ha una forma della fibra più irregolare, più schiacciata e con più nodi, inoltre

la cuticola è meno trasparente di quella del lino e la terminazione non è appuntita ma arrotondata.

#### 4. Saggi microanalitici ( Spot test )<sup>9</sup>

I saggi microanalitici sono ampiamente utilizzati nel campo del restauro per il riconoscimento dei materiali costitutivi la 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).



*Fig. Foto Microscopio Stereoscopico*

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

Nonostante si tratti di test distruttivi 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.

#### 4.1 Saggi per distinguere le fibre tessili<sup>10</sup>

<sup>9</sup> Volpin S.- Appolonia L., "Le analisi di laboratorio applicate ai beni artistici policromi", Collana I Talenti, Il prato, Padova 1999, ISBN 88-87243-09-3.  
Quaglierini C. – Amoroso L., "Chimica e tecnologia dei materiali per l'arte", Zanichelli, pp.187-302.



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.

#### **4.1.1 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 materie 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.

#### **4.1.2 Saggio alla soda caustica**

Si fa bollire la fibra per mezz'ora 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.

#### **4.1.3 Saggio all'acido solforico concentrato**

---

<sup>10</sup> Gainer W., "Textile laboratory manual: Qualitative methods", London Heywood Books and American Elsevier publishing CO, New York 1966, Vol.1. Library of Congress Catalogue Card 66-24820.

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.

#### **4.1.4 Saggio all'acido nitrico concentrato**

Reagendo con l'acido nitrico concentrato (  $HNO_3$  ):

- ? la lana da 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.

#### **4.1.5 Saggio con il 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 (  $NH_3$  ).

- ? 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

## **4.2 Saggi per individuare il grado di lignificazione delle fibre vegetali**

Le fibre vegetali sono in parte lignificate: il cotone meno di tutte, mentre la juta e le fibre minori più delle altre.

Per contraddistinguere queste fibre si può ricorrere a 3 saggi: saggio iodossolforico, saggio alla fluoroglucina e il saggio al cloro-ioduro di zinco.

### **4.2.1 Saggio iodossolforico (acido solforico e iodio)**

In questo saggio si impiegano due soluzioni che vengono conservate separatamente.

La prima soluzione contiene 1g di KI e 0.5g di  $I_2$  in polvere disciolti in 100ml di acqua.

La seconda soluzione si ottiene mescolando 40ml di glicerina bidistillata con 20ml di

acqua ed aggiungendo goccia a goccia, sotto agitazione e raffreddamento, 60ml di acido solforico concentrato.

Le fibre lignificate o le parti di esse che sono lignificate si colorano in giallo mentre le fibre composte da cellulosa pura in azzurro.

- ? le fibre di cotone si colorano in azzurro;
- ? nelle fibre di lino: le pareti si colorano di azzurro chiaro, le striature trasversali in azzurro più forte ed il lume appare colorato di giallo;
- ? la canapa grezza si colora di verde-azzurro al centro e di giallo ai lati per la presenza delle incrostazioni di lignina; invece la canapa lavorata, priva di lignina, si colora solo di verde.

#### **4.2.2 Saggio alla fluoroglucina**

Il reattivo utilizzato è ottenuto aggiungendo acido cloridrico concentrato ( HCl ) ad una soluzione di fluoroglucina all'1% in alcol.

Le fibre si colorano in rosso e il tono è tanto più intenso quanto maggiore è il grado di lignificazione della fibra; infatti la lignina contenuta nella fibra reagisce colorandosi di rosso ed impartendo una colorazione da rosa tenue a rosso magenta alla fibra stessa a seconda della % di lignina presente.

- ? il cotone essendo privo di lignina resta incolore;
- ? il lino si colora leggermente di rosa;
- ? la canapa da luogo ad una marcata reazione colorandosi di rosso per la presenza nella fibra di incrostazioni di lignina.

#### **4.2.3 Saggio al cloro-ioduro di zinco**

Il reattivo si prepara mescolando una soluzione preparata con 2g di cloruro di zinco (ZnCl) in 10ml di acqua con un'altra soluzione preparata con 2g di ioduro di potassio (KI) in 5ml di acqua; alla soluzione dello ioduro è opportuno aggiungere una o due scaglie di iodio.

Questo reattivo colora :

- ? il cotone in rosso-violetto;
- ? il lino scudito in bruno violaceo;
- ? le fibre incrostate in giallo-bruno.

In questo caso anche la seta si colora di giallo.

Nelle **tabelle** successive<sup>11</sup> sono riassunti i saggi chimici più significativi per il riconoscimento delle fibre di cotone, lino e canapa

**Tabella A: saggi di riconoscimento della fibra di cotone**

<b>Trattamento</b>	<b>Effetto</b>
Con acidi deboli	Resta inalterato
Con acidi forti diluiti a freddo	Resta inalterato
Con acidi forti diluiti a caldo	Si forma idrocellulosa
Con acidi forti diluiti all'ebollizione	Si forma glucosio
Con acidi forti concentrati a freddo	Rigonfia e si solubilizza
Con acidi forti concentrati a caldo (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	carbonizza
Con acidi ossidanti diluiti (HNO <sub>3</sub> )	Si forma ossicellulosa
Con acidi ossidanti concentrati	Si formano gli esteri corrispondenti
Con basi deboli	Resta inalterato
Con basi forti diluite	Resta inalterato
Con basi forti concentrate	Forma le alcalicellulose
Con fluoroglucina	Resta incolore
Con il reattivo di Schweitzer	Rigonfia e si scioglie lentamente
Con il reattivo iodosolforico	Si colora in azzurro
Con ZnCl <sub>2</sub> all'ebollizione	Resta inalterato
Con clorioduro di zinco a caldo	Si colora in rosso

<sup>11</sup> Quaglierini C. – Amoroso L., "Chimica e tecnologia dei materiali per l'arte", Zanichelli, pp.187-302.

**Tabella B: saggi di riconoscimento della fibra di lino**

<b>Trattamento</b>	<b>Effetto</b>
Con NaOH al 10% all'ebollizione	Ingiallisce leggermente e non si scioglie
Con HNO <sub>3</sub> concentrato	Non si scioglie e non si colora
Con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> concentrato	Si scioglie
Con fluoroglucina	Si colora leggermente di rosa
Con il reattivo di Schweitzer	Si scioglie lentamente

**Tabella C: saggi di riconoscimento della fibra di canapa**

<b>Trattamento</b>	<b>Effetto</b>
Con fluoroglucina	Si colora di rosso magenta
Con clorioduro di zinco	Si colora di viola
Con il reattivo iodosolforico	Se grezza si colora di verde-azzurro al centro e di giallo ai lati; se digrezzata si colora solo di verde

## 5. Metodi di indagine non invasiva: radiografia X<sup>12</sup>

Per tecniche diagnostiche non invasive si intendono quelle tecniche che non necessitano di campioni prelevati dall'opera d'arte.

Queste indagini fondate sui processi di interazione tra radiazione elettromagnetica e materia, forniscono informazioni sulla natura chimica dei composti presenti e sulle caratteristiche fisiche dei dipinti mediante immagini.

Ciascuna zona dello spettro elettromagnetico può fornire specifiche informazioni sui materiali presenti e sulla tecnica di esecuzione dell'opera.

Per lo studio dei supporti vengono impiegati i raggi x poiché in relazione alla loro ridotta lunghezza d'onda risultano radiazioni molto penetranti; l'alto potere penetrante fa sì che i RX possano attraversare selettivamente la materia, a seconda dei materiali e della struttura fisica dell'opera indagata ( l'assorbimento è maggiore all'aumentare del numero atomico degli elementi presenti ).

I RX dopo aver attraversato l'oggetto in esame in tutto il suo spessore impressionano una lastra piana trattata con una doppia emulsione per aumentarne la sensibilità; l'immagine radiografica che si ottiene in tal modo costituisce la proiezione su un piano di un insieme di trasparenze ed opacità dovute alle strutture distribuite nello spazio tridimensionale dell'oggetto in funzione della loro capacità di assorbire al radiazioni.

Le informazioni ricavabili dalla radiografia di dipinti su tela riguardanti il supporto sono:

- ? Identificazione delle caratteristiche della tela originale ( tipo di intreccio, titolo del filato, densità della tela );
- ? lo stato di conservazione delle tele originali ( cuciture, strappi, ecc. );
- ? identificazione del corpo originale rispetto a successive parti aggiunte;
- ? le modifiche delle misure originali ( tracce di chiodo).

Bisogna però dire che le tele dei quadri sono trattate con ossido di piombo che assorbe "molto" di più delle fibra stessa.

---

<sup>12</sup> Aldrovandi A.- Picollo M., "*Metodi di documentazione e di indagini non invasive sui dipinti*", a cura di P.Cremonesi, IL Prato Editore, Padova 5-8 e 46-49.  
Matteini M.-Moles A., "*Scienza e restauro: metodi di indagine*", Nardini editore, Firenze, pp. 196-205.

## 6. Metodi di datazione delle fibre tessili<sup>13</sup>

Uno dei principali scopi dello studio di un'opera d'arte è quello di collocarlo correttamente nella scala temporale, stabilendone quindi l'epoca di realizzazione.

Datazioni approssimative possono essere eseguite tramite l'osservazione, nel caso dei dipinti su tela, delle caratteristiche dei filati e del tessuto, dal tipo di tecniche di lavorazione adottate.

Datazioni molto più attendibili sono offerte dai metodi di datazione assoluta basati sui processi naturali fisico-chimici in atto nei materiali; nel caso specifico dei supporti di possono essere eseguiti i seguenti metodi:

- ? radiocarbonio;
- ? racemizzazione degli amminoacidi;
- ? enzimatico SAMT.

### 6.1 Metodo del radiocarbonio

E' il principale metodo di datazione assoluta che consente di datare qualsiasi reperto contenente carbonio e di conseguenza tutti i tessuti organici sia di natura vegetale che animale.

Questo metodo si basa sul decadimento dell'isotopo instabile del carbonio il  $^{14}\text{C}$ , il quale si forma continuamente nell'alta atmosfera dalla reazione dei neutroni termici con l'azoto; gli atomi di  $^{14}\text{C}$  così prodotti si combinano con l'ossigeno dando luogo alla anidride carbonica radioattiva che si mescola a quella normale passando poi a tutto il regno vegetale ed animale fino al raggiungimento di un equilibrio dinamico.

Quando un organismo muore, cessa il suo scambio con l'atmosfera così la concentrazione iniziale del  $^{14}\text{C}$  inizia a diminuire per decadimento radioattivo.

Il tempo di dimezzamento, cioè il tempo necessario perché decada la metà degli atomi di un isotopo radioattivo, è  $5730 \pm 40$  anni.

Per la determinazione dell'età di un campione di natura organica si fa il confronto tra la concentrazione attuale del campione con quella di uno standard. E' una tecnica distruttiva e la quantità di campione necessaria per la datazione varia a seconda dell'entità e tipologia dello stesso ad esempio nel caso specifico delle stoffe o della tela occorrono 20gr di materiale.

---

<sup>13</sup> Renfrew C.- Bahn P., "Archeologia:teorie-metodi-pratica", Zanichelli Editore, Bologna 1995, pp.119-126 e135

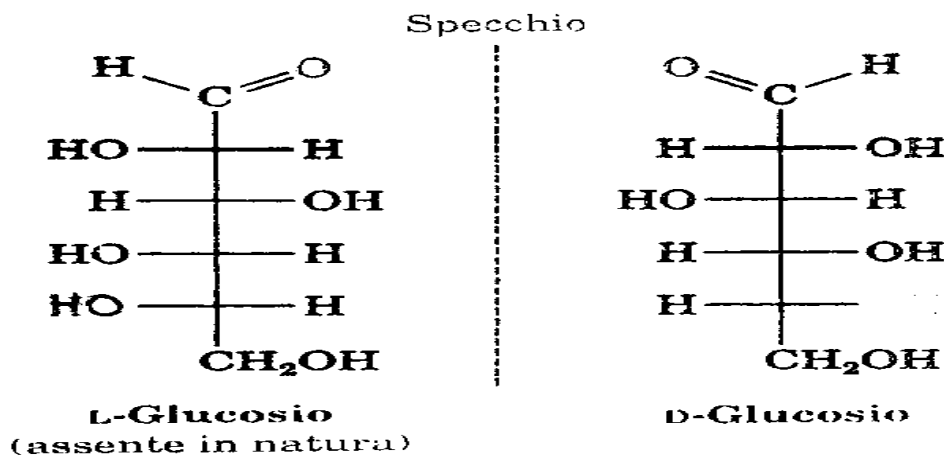
Il periodo di tempo databile è pari a 10 volte il tempo di dimezzamento cioè 50730 anni circa; le date determinate con questo metodo sono accompagnate da una stima dell'errore probabile espresso con la deviazione standard.

Inoltre l'età viene espressa indipendentemente dall'anno di misurazione e per convenzione si usa come riferimento il 1950.

## 6.2 Racemizzazione degli amminoacidi

E' un metodo di datazione applicabile unicamente alle fibre di natura proteica. Si basa sulla proprietà degli amminoacidi, costituenti le proteine, di possedere almeno un carbonio chinale cioè un atomo di carbonio legato a quattro gruppi diversi, che li rende otticamente attivi e quindi in grado di far ruotare il piano della luce polarizzata che li attraversa di un certo angolo.

Gli amminoacidi possono esistere in due forme simmetriche: isomeri D che fanno ruotare la luce polarizzata verso destra e perciò detti destrorgiri; isomeri L che fanno ruotare la luce polarizzata verso sinistra e quindi detti anche levogiri.



*Fig. Molecola di glucosio: isomero D e L*

Tutti gli amminoacidi appartenenti agli organismi viventi sono isomeri L e perciò il rapporto D/L è pari a 0; però al momento della morte dell'organismo inizia la conversione degli isomeri L in isomeri D. Il risultato di questo processo spontaneo, noto come racemizzazione, è la formazione di una soluzione racemica otticamente inattiva in cui il rapporto D/L è unitario. Pertanto anche l'angolo di rotazione della luce polarizzata diventa una misura dell'età del campione.

Le incertezze associate a tale metodo sono dovute alla dipendenza della velocità di racemizzazione da fattori come la temperatura e il pH del luogo in cui il manufatto è stato conservato.



### **6.3 Metodo enzimatico SAMT**

E' un metodo di datazione piuttosto recente applicabile alle fibre di natura cellulosica. Si basa sul fatto che tanto più è antico il campione e tanto maggiore è il contenuto di gruppi metili (  $\text{CH}_3$  ).

Il campione viene fatto reagire con una soluzione dell'enzima transmetilasi (SAMT), del cofattore (SAM) e dell'acido tetraidrofolico (THFA), che catalizza la reazione di demetilazione della cellulosa. Il risultato di tale processo reversibile è la formazione di materiale cellulosico demetilato, adenosina e omocisteina.

E' la quantità di adenosina liberata a rivelare l'età del campione: tanto maggiore è la sua concentrazione, calcolata con tecniche cromatografiche, e tanto più il campione è antico

## 7. Deterioramento delle fibre tessili<sup>14</sup>

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).

### 7.1 Fattori fisici

Variazioni di umidità relativa, 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 accelerano le reazioni chimiche e fotochimiche responsabili del degrado.

Per quanto 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.

### 7.2 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 fibre proteiche possono tollerare ambienti leggermente acidi e quelle cellulosiche ambienti debolmente alcalini.

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

---

<sup>14</sup> Fodero D.- Persichelli L. , *"Il tessuto archeologico. Aspetti conoscitivi e conservativi"*, ICR, Roma 1989.

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. L'acqua, ad elevata T, esercita un'azione chimica sulla **cheratina** rompendo alcuni legami elettrostatici ed alcuni legami idrogeno. Gli agenti ossidanti attaccano i legami disolfuro della cheratina. Acidi e basi attaccano la seta fino alla completa distruzione della fibra (idrolisi dei legami peptidici).

### **7.3 Fattori biologici<sup>15</sup>**

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 metabolici 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 adulti possono causare danni alle fibre. Per prevenire tali danni bisogna conservare il bene in condizioni di bassi valori di U.R. e T.

### **7.4 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. Occorre poi ricordare che il lino e la seta sono fibre poco flessibili, che la seta è molto plastica e dunque facilmente deformabile e che il lino e cotone sono poco elastici.

---

<sup>15</sup> Caneva G.- Nugari M.P.- Salvadori O., "La biologia nel restauro", Nardini Editore, 2°Edizione, Firenze 1997, pp.82-88.

## GLOSSARIO

**CHERATINA:** KERATIN SOLUTION FROM HUMAN EPIDERMIS - CAS NUMBER: 68238-35-7

**LIGNINA:** LIGNIN,ALKALI - CAS NUMBER: 8068-05-1

**PECTINA:** PECTIN - CAS NUMBER: 9000-69-5

**CELLULOSA:** CELLULOSE - CAS NUMBER: 9004-34-6

**ASBESTO O AMIANTO:** ASBESTOS - CAS NUMBER: 1332-21-4

**?- E ?-CASEINA:** ?- AND ?-CASEIN FROM BOVINE MILK - CAS NUMBER: 9000-71-9

**L-CISTEINA:** L-CYSTEINE - LINEAR FORMULA: HSCH<sub>2</sub>CH(NH<sub>2</sub>)CO<sub>2</sub>H, FORMULA WEIGHT: 121.16, CAS NUMBER: 52-90-4

**L-CISTINA:** L-CYSTINE - LINEAR FORMULA: [-SCH<sub>2</sub>CH(NH<sub>2</sub>)CO<sub>2</sub>H]<sub>2</sub>, FORMULA WEIGHT: 240.30, CAS NUMBER: 56-89-3

**ACQUA OSSIGENATA:** HYDROGEN PEROXYDE - EMPIRICAL FORMULA: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, FORMULA WEIGHT: 34.01, CAS NUMBER: 7722-84-1

**POTASSIO PERMANGANATO:** POTASSIUM PERMANGANATE - EMPIRICAL FORMULA: KMnO<sub>4</sub>, FORMULA WEIGHT: 158.03, CAS NUMBER: 7722-64-7

**IPOCLORITO DI SODIO:** SODIUM HYPOCHLORITE - LINEAR FORMULA: NaClO, FORMULA WEIGHT: 74.44, CAS NUMBER: 7681-52-9

**GLICINA:** GLYCINE - LINEAR FORMULA: NH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>COOH, FORMULA WEIGHT: 75.07, CAS NUMBER: 56-40-6

**L-ALANINA:** L-ALANINE - EMPIRICAL FORMULA: C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>2</sub>, FORMULA WEIGHT: 89.09, CAS NUMBER: 56-41-7

**TIROSINA:** L-TYROSINE - LINEAR FORMULA: 4-(HO)C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>CH<sub>2</sub>CH(NH<sub>2</sub>)CO<sub>2</sub>H, FORMULA WEIGHT: 181.19, CAS NUMBER: 60-18-4

**D-(+)-GLUCOSIO:** D-(+)-GLUCOSE - EMPIRICAL FORMULA: C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> · H<sub>2</sub>O, FORMULA WEIGHT: 198.17, CAS NUMBER: 14431-43-7

**ACIDO OSSALICO:** OXALIC ACID - LINEAR FORMULA: HOCCOOH, FORMULA WEIGHT: 90.03, CAS NUMBER: 144-62-7

**SOLUZIONE CUPROAMMONIACALE DI SCHWEITZER:** SOLUZIONE AMMONIACALE DI OSSIDO DI RAME BIVALENTE (CuO), CHE SCIOLGIE LA CELLULOSA. LE SOLUZIONI CUPROAMMONIACALI, COME IL REATTIVO DI SCHWEITZER, SONO OTTENUTE PER REAZIONE DELL'AMMONIACA CONCENTRATA (NH<sub>3</sub>) SU TRUCIOLI DI RAME (Cu) IN PRESENZA D'ARIA E CONTENGONO IL

**DIIDROSSIDO DI TETRAMMINORAME,  $\text{Cu}(\text{OH})_2(\text{NH}_3)_4$ . SI IMPIEGANO NELLA FABBRICAZIONE DI ALCUNE FIBRE TESSILI ARTIFICIALI (RAYON).**

***ETERE DIETILICO:* DIETHYL ETHER - LINEAR FORMULA:  $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_2\text{O}$ , FORMULA WEIGHT: 74.12, CAS NUMBER: 60-29-7**

***BENZOLO:* PHENOL - LINEAR FORMULA:  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ , FORMULA WEIGHT: 94.11, CAS NUMBER: 108-95-2**

***TRIELINA:* MISCELA DI TRICLOROETILENE (TRICHLOROETHYLENE - LINEAR FORMULA:  $\text{ClCH}=\text{CCl}_2$ , FORMULA WEIGHT: 131.39, CAS NUMBER: 79-01-6), DICLOROPROPANO (1,1-DICHLOROPROPANE - LINEAR FORMULA:  $\text{C}_2\text{H}_5\text{CHCl}_2$ , FORMULA WEIGHT: 112.99, CAS NUMBER: 78-99-9) ED ALTRI CLOROCARBURI (SGRASSANTI, SMACCHIATORI).**

***SODA:* SODIUM HYDROXIDE - LINEAR FORMULA:  $\text{NaOH}$ , FORMULA WEIGHT: 40.00, CAS NUMBER: 1310-73-2**

***ACIDO SOLFORICO:* SULPHURIC ACID - LINEAR FORMULA:  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , FORMULA WEIGHT: 98.08, CAS NUMBER: 7664-93-9**

***ACIDO NITRICO:* NITRIC ACID - EMPIRICAL FORMULA:  $\text{HNO}_3$ , FORMULA WEIGHT: 63.01, CAS NUMBER: 7697-37-2**

***SOLFATO DI RAME:* COPPER SULPHATE - LINEAR FORMULA:  $\text{CuSO}_4$ , FORMULA WEIGHT: 159.61, CAS NUMBER: 7758-98-7**

***IODURO DI POTASSIO:* POTASSIUM IODIDE - LINEAR FORMULA:  $\text{KI}$ , FORMULA WEIGHT: 166.00, CAS NUMBER: 7681-11-0**

***GLICERINA:* GLYCERIN - LINEAR FORMULA:  $\text{HOCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{OH}$ , FORMULA WEIGHT: 92.09, CAS NUMBER: 56-81-5**

***ACIDO CLORIDRICO:* HYDROCHLORIC ACID - EMPIRICAL FORMULA:  $\text{HCl}$ , FORMULA WEIGHT: 36.46, CAS NUMBER: 7647-01-0**

***FLOROGLUCINA:* 1,3,5-TRIHIDROXYBENZENE - LINEAR FORMULA:  $\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , FORMULA WEIGHT: 162.14, CAS NUMBER: 6099-90-7**

***CLORURO DI ZINCO:* ZINC CHLORIDE - LINEAR FORMULA:  $\text{ZnCl}_2$ , FORMULA WEIGHT: 136.30, CAS NUMBER: 7646-85-7**

***FIBROINA:* LA FIBROINA È LA PROTEINA DELLA SETA. A DIFFERENZA DI COLLAGENO E CHERATINA, LA FIBROINA HA UNA STRUTTURA BETA, ORGANIZZATA IN ESTESI FOGLIETTI, PIEGHETTATI A VENTAGLIO. LA FIBROINA È RICCHISSIMA DI ALANINA E GLICINA, CHE SI ALTERNANO NELLA SEQUENZA PRIMARIA. CIÒ CONSENTE AI FOGLIETTI ? DI DISPORSI IN PIANI SOVRAPPOSTI, RAVVICINATI E COMPATTI, TENUTI INSIEME DA DEBOLI INTERAZIONI APOLARI FRA I RESIDUI LATERALI DI ALANINA E GLICINA. QUESTA PARTICOLARE ORGANIZZAZIONE RENDE LA SETA MORBIDA E FLESSIBILE.**

**CARATTERISTICHE CHIMICHE DELLA FIBROINA P.M. = 84000 – 220000**

ANALISI CHIMICHE DELLA SEQUENZA HANNO DIMOSTRATO LA PRESENZA DI UNITÀ FONDAMENTALI COSTITUITE DA SEI RESIDUI; TALI UNITÀ SI RIPETONO PER LUNGHI TRATTI DELLA CATENA POLIPEPTIDICA ED HANNO LA SEGUENTE COMPOSIZIONE:

**(GLY-SER-GLY-ALA-GLY-ALA)<sub>N</sub>**

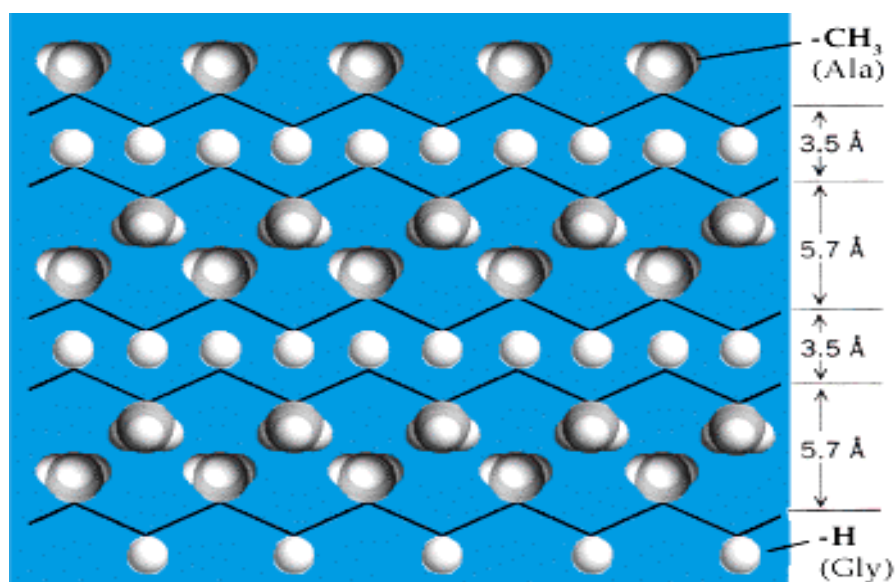
LE CATENE POLIPEPTIDICHE SONO DISTESE ED ALLUNGATE PARALLELAMAMENTE ALL'ASSE DELLA FIBRA STESSA; LE CATENE ADIACENTI HANNO DIREZIONI OPPOSTE E SONO UNITE PER MEZZO DI LEGAMI IDROGENO IN MODO DA FORMARE UNO STRATO. LA NECESSITÀ DI FORMARE LEGAMI IDROGENO EFFICIENTI IMPEDISCE ALLE CATENE DI ESTENDERSI COMPLETAMENTE. CIÒ DETERMINA LA PIEGHETTATURA DELLA CATENA POLIPEPTIDICA E ORIENTA I GRUPPI R DEGLI AMMINOACIDI ALL'ESTERNO ALTERNATIVAMENTE DA UNA PARTE E DALL'ALTRA RISPETTO ALL'IPOTETICO PIANO DELLO STRATO.

RELATIVAMENTE ALLA SEQUENZA SOPRA RIPORTATA TUTTI I GRUPPI R DELLA GLICINA SI TROVANO DALLA STESSA PARTE MENTRE I GRUPPI R DI SERINA E ALANINA SI TROVANO DAL LATO OPPOSTO. LE VARIE CATENE SI DISPONGONO IN MODO DA FAR CORRISPONDERE GLICINA CON GLICINA, ALANINA CON ALANINA E SERINA CON SERINA. SI FORMANO COSÌ DEGLI STRATI.

LA RESISTENZA ALLA TRAZIONE È ESERCITATA DAI LEGAMI COVALENTI DELLA CATENA POLIPEPTIDICA E QUINDI RISULTA PARTICOLARMENTE ELEVATA; INOLTRE LA CATENA NON È ALLUNGABILE IN MANIERA APPREZZABILE IN QUANTO LA CATENA È ESTESA FINO AL LIMITE MASSIMO OLTRE IL QUALE VERREBBERO MENO I LEGAMI IDROGENO INTERCATENA.

GLI STRATI SONO TENUTI INSIEME DA FORZE DI VAN DER WAALS E CIÒ DETERMINA LE CARATTERISTICHE DI FLESSIBILITÀ DELLA SETA.

LE SEZIONI ORDINATE (GLY-SER-GLY-ALA-GLY-ALA) HANNO CARATTERISTICHE CRISTALLINE E SI ALTERNANO CON REGIONI DISORDINATE CHE CONTENGONO OLTRE AI TRE AMMINOACIDI FONDAMENTALI TUTTI GLI AMMINOACIDI CON CATENE LATERALI VOLUMINOSE. QUESTE RISULTANO QUINDI AMORFE. NELLA SETA PRODOTTA DAL *BOMBYX MORI* CIRCA IL 60% DELLA PROTEINA È IN FORMA CRISTALLINA E IL 40% IN FORMA AMORFA; QUEST'ULTIME REGIONI SONO RESPONSABILI DELLA MODESTA ESTENSIBILITÀ DELLA SETA.



## Bibliografia

AA.VV, "*Identification of textile materials*", Ed. Textile Institute, Manchester 1985, Seventh Edition. ISBN 0-900739-18-5

Accardo G.- Vigliano G., "*Strumenti e materiali del restauro. Metodi di analisi, misura e controllo*", Edizioni Kappa, Roma 1989, pp.109-118, ISBN 88-7890-012-5.

Aldrovandi A.- Picollo M., "*Metodi di documentazione e di indagini non invasive sui dipinti*", a cura di P.Cremonesi, IL Prato Editore, Padova 5-8 e 46-49.

Baccheschi E. e altri, "*Le tecniche artistiche*", a cura di C.Maltese, Mursia, Milano 1985, pp.413-427. ISBN 88-425-0882-9

Basile E.I. e altri, "*I supporti nelle arti pittoriche, storia, tecnica e restauro*", a cura di C.Maltese, Mursia, Milano 1990, 2°Vol. pp.49-81.

Baroni S., "*Restauro e conservazione dei dipinti. Manuale pratico*", Fabbri Editori, pp.40-44, ISBN 88-451-8298-3.

Caneva G.- Nugari M.P.- Salvadori O., "*La biologia nel restauro*", Nardini Editore, 2°Edizione, Firenze 1997, pp.82-88.

Caramiello R.- Arobba D., "*Analisi di fibre tessili di origine vegetale*" in Manuale di Archeobotanica. Metodiche di recupero e studio, Franco Angeli, CNR-Progetto finalizzato Beni Culturali, Milano 2003, pp.201-210, ISBN 88-464-4963-0.

Fodero D.- Persichelli L. , "*Il tessuto archeologico. Aspetti conoscitivi e conservativi*", ICR, Roma 1989.

Gainer W., "*Textile laboratory manual:Qualitative methods*", London Heywood Books and American Elsevier publishing CO, New York 1966, Vol.1. Library of Congress Catalogue Card 66-24820.

Gainer W., "*Textile laboratory manual :Fibres* ",London Heywood Books and American Elsevier publishing CO, New York 1967, Vol.5. Library of Congress Catalogue Card 66-24820.

Mariersberger H.R., "*Textile fibres, their physical, microscopic and chemical properties*", Matthews, j.Wiley and Sons, NY, Chapman, Sixty Edition. Library of Congress Catalogue Card 54-6538.

Matteini M.-Moles A., "*Scienza e restauro: metodi di indagine*", Nardini editore, Firenze, pp. 196-205.

Quaglierini C. – Amoroso L., "*Chimica e tecnologia dei materiali per l'arte*", Zanichelli, pp.187-302.

Renfrew C.- Bahn P., *“Archeologia:teorie-metodi-pratica”*, Zanichelli Editore, Bologna 1995, pp.119-126 e135

Rosati C., *“Tecniche pittoriche e restauro dei dipinti”* , Edizioni scientifiche A.Cremonese, Bologna 2001, pp.35-44, ISBN 88-08-11166-0.

Volpin S.- Appolonia L., *“Le analisi di laboratorio applicate ai beni artistici policromi”*, Collana I Talenti, Il prato, Padova 1999, ISBN 88-87243-09-3.