



Consiglio Nazionale
delle Ricerche



ALL'S WOOL THAT ENDS WOOL

Classe 3M, Liceo Luigi Galvani, Bologna, Italy



PREFAZIONE	2
1 - STORIA DELLA LANA	3
2 - CARATTERISTICHE	14
1. Composizione chimica della lana	14
2. La classificazione delle fibre tessili	17
3. Le cheratine	20
4. Le proprietà della lana	23
5. Struttura morfologica della fibra di lana	27
3 - UTILIZZI	28
1. Produzione di lana nell'industria tessile	28
2. Agricoltura	30
3. Edilizia	34
4. Settore biomedico	37
5. Depurazione delle acque	411
4 - Bibliografia e sitografia	44



PREFAZIONE

Il libro multimediale “All's wool that ends wool” nasce dal progetto RawMaterials@School del consorzio europeo EIT RawMaterials, per la promozione della cultura scientifica tra i giovani. Il progetto consiste nella realizzazione di un toolkit (letteralmente ‘cassetta degli attrezzi’) a scopo divulgativo, destinato a studenti tra i 14 e i 19 anni. Il toolkit contiene materiale teorico e pratico riguardante gli utilizzi innovativi della lana di scarto, aventi lo scopo di evitare il tradizionale smaltimento attraverso processi di combustione, con il conseguente rilascio di gas altamente nocivi per l’ambiente.

Per acquisire ed elaborare le conoscenze necessarie allo svolgimento del progetto, sono stati effettuati due incontri con la ricercatrice dell'ISOF-CNR di Bologna, dott.ssa Annalisa Aluigi. Il primo è servito a presentare l’argomento e a fornire le basi teoriche per gli esperimenti che, in un secondo momento, sono stati svolti in un’esperienza di laboratorio.

Lo scopo del nostro progetto è, quindi, riproporre il percorso formativo della classe in modo tale che il lettore possa assimilare i concetti fondamentali e riprodurre autonomamente gli esperimenti seguendo le schede di laboratorio e i video illustrativi.



1 – STORIA DELLA LANA

La lana ha dimostrato la propria versatilità nel corso della storia, sebbene inizialmente fosse inutilizzata. L'allevamento ovino, infatti, iniziò ad essere presente intorno al 10 000 a.C., ma con il solo scopo di produrre carne; per il consumo di latte è necessario aspettare il 5500 a.C., quando una mutazione genica consentì ad alcuni individui di sintetizzare la [lattasi](#) per tutta la vita.

Le testimonianze più antiche riguardanti l'impiego della lana ovina risalgono al 3000 a.C. circa, quando venne sostituita alle pellicce per la produzione di abiti, grazie all'introduzione delle prime tecniche di filatura (Galleria 1.1).



“La ragazza di Egtved”, 1370 a.C., Copenaghen, Museo Nazionale Danese. La ragazza indossava un completo di lana, costituito da una tunica corta e una gonna



Tappeto di Pazyryk, V secolo a.C., San Pietroburgo, The State Hermitage Museum. È il tappeto più antico del mondo, tessuto con la tecnica del doppio nodo e colorato con tinte brillanti.



“Moglie di Huldre Fen”, II secolo a.C., Copenaghen, Museo Nazionale Danese. La sciarpa e la gonna indossati dalla donna sono di lana.

Galleria 1.1 – Alcuni tra i reperti di lana più antichi.

L'importante presenza di questa fibra tessile sui mercati mesopotamici è confermata da alcuni frammenti di un documento babilonese (Il Prisma Scolastico Paleo Babilonese), in cui appare il resoconto di scambi commerciali riguardanti la lana. Il Prisma (Galleria 1.2), altamente danneggiato, riporta le condizioni di un contratto commerciale. *“1 talento di lana di provenienza straniera, di buona qualità – [il corrispondente in argento (è) 1 shekel] per 6 mine (di lana) – ... (di) capra, d[a?] Ur-[...], il mercante, ha ricevuto. La metà? dell'argento (valore della lana) nel secondo mese, la metà? (aggiuntiva) [la darà (indietro)?] ... (numero imprecisato di righe perdute)”*.

Approfondimento

La lattasi

La lattasi (o β -galattosidasi) è l'enzima che idrolizza il lattosio scindendolo in glucosio e galattosio, due zuccheri semplici che l'uomo è in grado di digerire. L'enzima, codificato dal gene LCT che è situato sul cromosoma 2 (posizione 2q21.3, Figura 1), fino al VI millennio a.C. veniva prodotto solo durante l'infanzia e scompariva nell'età adulta; a partire dal 5500 a.C. una mutazione genica permise all'uomo di continuare la sintesi della lattasi per tutta la vita. Ciò rappresentò un notevole vantaggio evolutivo, poiché permise l'introduzione di latte non umano e dei suoi derivati nella nostra dieta anche dopo l'infanzia.

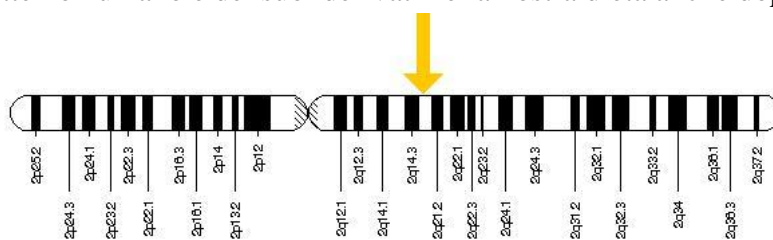
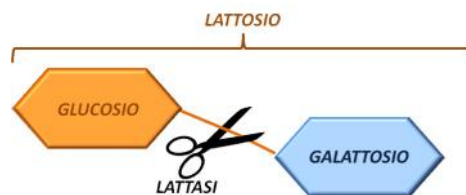


Figura 1

Oggi circa il 70% degli adulti occidentali possiede il gene attivo e sono quindi in grado di assimilare il lattosio, mentre la situazione è completamente rovesciata nelle popolazioni asiatiche che però tradizionalmente, non nutrendosi di latte e suoi derivati, non ne sono svantaggiate (Figura 2). Recentemente è stato identificato sul cromosoma 2 il gene della lattasi e un polimorfismo genetico, responsabile della persistenza enzimatica, nelle posizioni -13910 del gene.

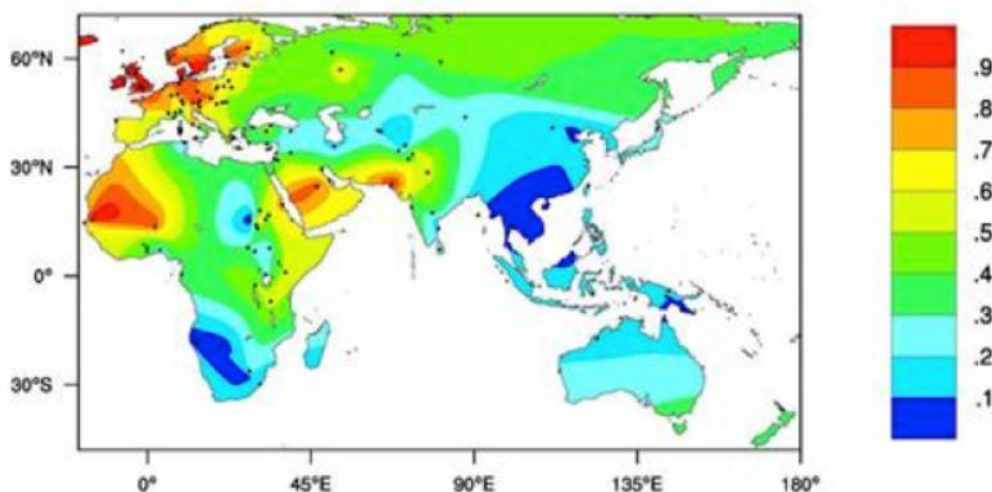
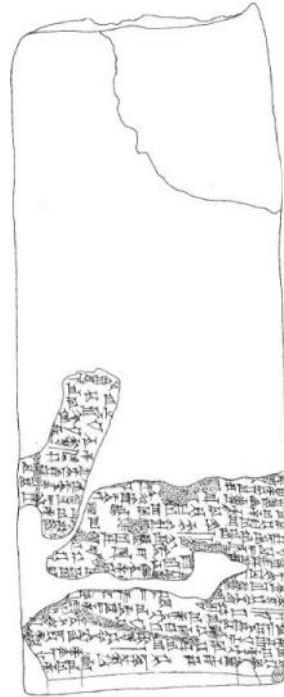
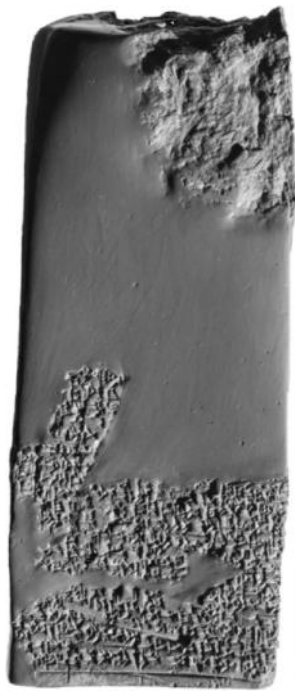


Figura 2 – Stima a livello mondiale della produzione di lattasi negli individui adulti.





Galleria 1.2 – Modello di contratto per il commercio di lana, faccia 2 del Prisma babilonese , 25, 5x9, 5x9, 5 cm.

In Egitto, al contrario, venne raramente usata poiché considerata un materiale impuro.

In Danimarca, sono stati recuperati alcuni indumenti di lana, tra cui una gonna femminile e una cintura, risalenti al III millennio a.C., mentre sono originari delle miniere di Hallstatt, in Austria, dei frammenti di tessuti in lana del 1000 a.C., di colore verde oliva e attraversati da strisce più scure che ricordano la fantasia di un plaid.

Per quanto riguarda la civiltà greca, la lana trovò il suo maggiore impiego nel settore dell'abbigliamento, prima che in epoca ellenistica venissero introdotte stoffe più pregiate quali il cotone e la seta. Presso le rovine della città di Troia furono ritrovate circa 8000 rotule per fusi e ci sono importantissime opere iconografiche che riportano il complesso e meticoloso metodo con cui veniva trattato il materiale: l'esempio più celebre è quello del "lékythos" del pittore di Amasis (Figura 1.1), che rappresenta le varie fasi del ciclo tessile, ma anche la rappresentazione musiva ritrovata a Cipro nella "casa di Teseto" (Figura 1.2).



Figura 1.1 – Pittore di Amasis, Lekythos attico a figure nere rappresentante un gruppo di donne che tessono la lana, metà del VI secolo a.C., Metropolitan Museum of Art.



Figura 1.2 – La casa di Teseo, dettaglio del mosaico del “primo bagno di Achille”, ala sud, Cipro, parco Archeologico Nea Paphos. Da sinistra verso destra sono rappresentati Peleo e Teti, genitori di Achille, e i tre fati Clotho, Lachenis e Atropos. Cloto tiene in mano un fuso e una rocca per la filatura.

La lavorazione della lana era affidata alle donne greche, (Figure 1.3 e 1.4) che sceglievano se trattare le fibre della lana con la torsione S o Z; questi due tipi diversi di filatura erano applicati in base alla funzione del prodotto finito. Il primo consisteva nella rotazione sinistrorsa del fuso (in senso orario), l'altro nella rotazione destrorsa (in senso antiorario). Le stoffe tessute venivano poi sottoposte alla follatura, un processo nel quale venivano messe in una vasca e pestate dagli uomini per renderle più fitte e compatte. Nel caso si volessero ottenere tessuti ruvidi e rigidi venivano, poi, aggiunte sostanze come urina e bicarbonato di sodio, mentre se l'obiettivo era quello di ammorbidirli erano uniti ad un tipo di terra argillosa. Ulteriori lavorazioni post-trattamento prevedevano la garzatura con cardi e spazzole oppure, per le stoffe bianche, la candeggiatura con zolfo.



Figura 1.3 – Pittore di Diosphos, scena al gineceo con donne che filano, 500 a.C., dettaglio di Epinètron attico a figure nere, 13,8 cmx31,5 cm, Parigi, Museo del Louvre.



Figura 1.4 – Pittore di Triptolemos, Filatrice con kalathos al suolo, 480-470 a.C., Lekythos attico a figure rosse, Palermo, Museo archeologico regionale “Antonio Salinas”.

Come i Greci prima di loro, così anche i Romani capirono che, per il miglioramento delle fibre tessili, era necessaria un'accurata selezione degli ovini. Il ritrovamento di campioni di lana anatolica sostiene l'ipotesi che iniziarono ad essere importati i velli più pregiati da Mileto, dall'Attica, da Megara e da Taranto, al fine di creare stoffe più sofisticate. La ricerca di questa raffinatezza per i tessuti dei vestiti, fece sì che, nell'ambito dell'industria tessile, il pelo di capra non venisse utilizzato, ma trovò grande impiego nella produzione di stoffe grossolane, mantelli, tappeti e pantofole (Figura 1.5).



Figura 1.5 – Frammento egizio di svastica che gira a destra, epoca romana o bizantina, tessitura, Pairigi, Museo del Louvre.

I Romani, introducendo per la prima volta le cesoie, migliorarono notevolmente il processo di lavorazione della materia prima che, fino ad allora, era sradicata direttamente dal vello delle pecore. Le cesoie erano formate da due lame ricurve, affilate e taglienti che erano fissate su una molla a forma di U. Questo strumento, insieme a spazzole fatte con aculei di porcospino e a pettini metallici, veniva largamente utilizzato nelle *Officinae Lanificariae*, dove venivano effettuate tutte le operazioni di lavaggio e battitura. Dopo essere stata lavata e asciugata, infatti, la lana subiva la cardatura, che serviva a dare omogeneità al composto, per sottoporlo alla torsione prima che venisse filato. È importante sottolineare come questo processo permettesse di ricavare come sottoprodotto la "lanolina", un unguento bianco-giallastro impiegato ampiamente per la cura personale: grazie alla facilità con cui la pelle lo assorbiva, veniva unito ad olio d'oliva, di mandorle o a burro cacao per creare delle pomate.

Vista la crescita considerevole della domanda di capi vestiari in lana, in età repubblicana, iniziarono a nascere, in stretta relazione con le *Officinae Lanificariae*, le officine tessili, "*Textrinae*" (Galleria 1.3).

«I vestiti di lana erano di largo uso, mentre lino, seta e cotone erano riservati ai ricchi. La lana tinta costava assai poco, dai 2 ai 4 assi la libra (1 asse=0,10 denari, 1 denario=4 sesterzi)»

Tratto dall'articolo "Moda e abbigliamento nell'antica Roma" dell'archeologa Paola Virgili.

«Filare e tessere erano incombenze principali di ogni donna, simbolo delle sue virtù e della sua dedizione alla famiglia, tanto che nella sala mortuaria di Turia la sola raffigurazione del telaio è sufficiente a decantare le virtù della defunta».

Dal filosofo storico Musonio Rufo, I secolo a.C.

Galleria 1.3 – Documenti.

A Pompei, Ercolano e Scafati erano diffusi strumenti e tecniche molto sofisticate, che permettevano di produrre complessi tessuti, come ad esempio i tessuti "*ibridi*", ovvero formati da fibre di natura diversa. In occasione dei vari scavi di Pompei, sono stati individuati 13 impianti per la battitura e la cardatura della lana, 5 per la filatura e la tessitura e ben 9 "*Officinae tinctoriae*". La presenza di queste strutture, insieme al ritrovamento di orci e contenitori con residui di materia colorante, evidenzia come le attività tintorie fossero profondamente sviluppate e fa intuire la posizione di rilievo della città nella produzione di capi di vestiario. Sempre a Pompei, si trovano dei pilastri su cui sono rappresentati i cicli tessili a cui veniva sottoposta la materia prima: il "*Pilastro dei Fullones*" (Galleria 1.4), il più importante, è affrescato su tre delle quattro facce, sulle quali sono riprodotte le varie fasi della lavorazione della lana. Interessanti sono anche gli affreschi della facciata dei "*Lanarii*



Coactiliarii”, su cui sono illustrate le procedure che venivano seguite per produrre il feltro: una stoffa particolare che si ottiene unendo i residui dei tessuti di lana con acqua, sapone, colla e i peli di altri animali. Veniva principalmente utilizzato per fabbricare mantelli pesanti, copricapi o calzari.



Pannello con operai al lavoro, uno spazzola un telo di lana, mentre un altro porta una gabbia di bastoncini disposti a cupola che serve a solforare con fumigazioni le stoffe al fine di sbiancarle. Sulla gabbia è appollaiata una civetta che allude alla dea Atena, protettrice dei lanaiuoli.



Pannello con operaie al lavoro, intente a stendere stoffe.



Pannello con pressa lignea per i panni.

Galleria 1.4 – Dettaglio di un pilastro della Fullonica di Veranius Hypaseus, affresco, Napoli, Museo Archeologico Nazionale.

Durante l’Impero Romano nacquero le prime corporazioni di “*lanarii*”, che si occupavano sia della lavorazione sia del commercio della lana e avevano le principali sedi nell’Italia Settentrionale, a Pompei, a Tiatira e ad Efeso. Nacquero, quindi, i primi veri stabilimenti, che gettarono le basi per una futura industria.

La civiltà medievale fondava la propria economia sull’agricoltura e sull’allevamento di pecore e capre, da cui traeva gran parte degli elementi di sussistenza ricavandone latte, carne e lana. Fu inoltre in questo periodo che si iniziò a prestare maggiore attenzione alle differenze tra diversi tipi di lana, portando quindi a una prima suddivisione in lane semplici e pregiate. Le lane più richieste divennero allora quelle provenienti dall’Inghilterra, dalla Sassonia, dalla Slesia, dalla città di Brie in Francia e dall’Italia.

Nell’Alto Medioevo l’industria laniera si diffuse in tutta l’Europa, con le Fiandre come centro principale: da questa regione, infatti, veniva esportata una molteplicità di stoffe molto pregiate, non solo per il tipo di fibra, ma anche per qualità del processo tintoriale. Questa regione promosse sicuramente un’internazionalizzazione dei commerci: i mercanti fiamminghi acquistavano la materia pri-

ma in Inghilterra, la lavoravano nel loro paese d'origine e poi rivendevano i pregiati manufatti agli Italiani e ai Francesi. Le grandi fiere contribuirono all'espansione degli scambi, che non si limitavano a presentare la materia prima, ma offrivano una varietà di macchine per la lavorazione e di sostanze coloranti. L'Italia, che aveva attraversato un periodo di grave crisi in seguito alle invasioni barbariche, iniziò a riprendersi, grazie alla possibilità di intrattenere scambi con la Spagna, la Francia, l'Inghilterra e anche con i paesi Medio-Orientali; nacquero di conseguenza importanti siti produttivi nell'area Settentrionale.



Figura 1.6 - Formella del Duomo di Firenze, Andrea Pisano, XIV secolo.

Durante il Basso Medioevo si assistette alla fioritura delle corporazioni, associazioni di lavoratori dello stesso settore produttivo che tutelavano gli artigiani e i mercanti. Fu in questo periodo che i lanaioli toscani, in particolare pratesi e fiorentini, riuscirono ad accrescere l'importanza delle loro lane sul mercato facendone un genere ricercato su tutte le piazze europee. La rappresentazione del processo di tessitura su una formella del campanile del Duomo di Firenze (Figura 1.6) testimonia la posizione di spicco che questa attività assumeva nella società fiorentina.

A Orvieto, nel frattempo, una miniatura (Figura 1.7) mostra i simboli delle arti maggiori della zona, tra cui si distinguono anche l'arte della Lana, dei tessitori, dei Linaioli e dei Tintori, mentre a Bologna una raffigurazione del mercato di Porta Ravennana mostra numerose stoffe, abiti confezionati, pelli conciate e copricapi.

Il fenomeno si estese ben presto a tutte le città più importanti (Genova, Lucca, Perugia, Napoli), al Veneto e alla Lombardia; a Venezia, la corporazione dei lanieri, "la Mariogola dei Lanieri", inserita a metà del XIII secolo tra le sedici arti più importanti che avevano il privilegio di assistere all'elezione del Doge, fece forte concorrenza sui mercati ai fiorentini. In Italia l'industria tessile divenne così una delle fonti principali di reddito e l'Arte della Lana acquisì prestigio e rilevanza anche a livello politico, come è dimostrato dalla grandiosità delle sedi come quella di Firenze.



Figura 1.7 – Miniatura di Orvieto che rappresenta la arti e i mestieri.

Nei secoli seguenti assunsero grande importanza come centri di lavorazione della lana l'Inghilterra, la Francia e le Fiandre, queste ultime specializzate nella realizzazione di arazzi. In Inghilterra, in particolare, già dal 1370 la produzione era già molto sviluppata e variegata, con 44 tipi diversi di lana, e si formarono perciò delle società chiamate “Merchants of the Staple” (Figura 1.8) che coordinavano le operazioni commerciali del settore laniero e, con il re Edoardo III (1312-1377), le prime città “Staple”, che acquistavano ed esportavano lana e prodotti finiti. Nel frattempo, l'Inghilterra incoraggiò l'immigrazione di tessitori, tintori e esperti del settore, accolse i rifugiati da altre nazioni che fuggivano dalla loro madrepatria per guerre o persecuzioni e il governo introdusse delle leggi che vietavano l'esportazione di pecore e di lana grezza. Grazie a queste politiche l'Inghilterra diventò molto competitiva sui mercati, tanto che il regno di Enrico VIII raggiunse il suo splendore proprio grazie allo sviluppo del settore laniero e iniziò a produrre anche stoffe pregiate che schiacciavano la concorrenza delle Fiandre sui mercati: si tessettero insieme per la prima volta le fibre di lana con quelle di lino e si inventarono nuove tecniche di tintura e rifinitura. I flussi commerciali divennero molto attivi verso l'Europa continentale: a Bologna l'importazione di stoffe inglesi era tanto massiccia che si costituì la corporazione “Mercatores Drapariae Angliae”.

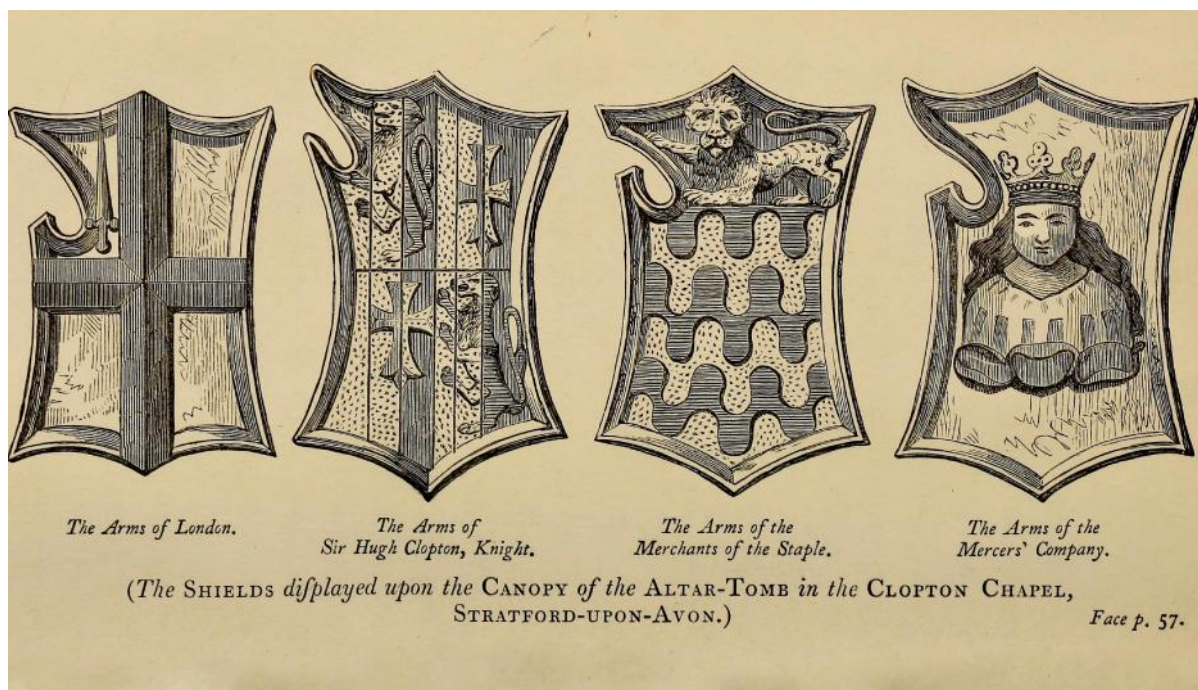


Figura 1.8 – Bellew, J. C. M. , “Shakespeare's Home at New Place, Stratford-upon-Avon”, Londra, Virtue brothers and co., 1863. Il terzo stemma rappresenta i “Merchants of The Staple”.

In Spagna si distinse, a partire dal 1400 e fino al 1700, la raffinata lana delle pecore Merino, una razza originaria del Nord Africa incrociata e selezionata accuratamente dai pastori castigliani e custodita gelosamente impedendone a lungo l'esportazione. Il fiorente commercio di questa varietà di lana, di cui le Fiandre erano grandi acquirenti, contribuì a finanziare i viaggi di Colombo nel XIV secolo. Fu durante il periodo delle esplorazioni geografiche che l'allevamento ovino si diffuse ulteriormente in paesi molto lontani dall'Europa per opera dei conquistadores: in un primo momento a

Cuba e a Santo Domingo, poi, dopo i viaggi di Cortés, anche negli attuali Messico e Stati Uniti sudoccidentali.

Gli inglesi tentarono di scoraggiare la crescente industria della lana in Nord America, rendendo punibile il commercio di lana nelle colonie con il “taglio della mano destra” del colpevole; tuttavia ciò non impedì al settore di svilupparsi fino alla Guerra di indipendenza americana (1775-1783), anche grazie alla politica di mantenimento delle greggi promossa dai presidenti George Washington e Thomas Jefferson. L’innovazione tecnologica che determinò lo sviluppo fiorente del settore laniero americano fu tuttavia il filatoio a mano “Spinning Jenny” (Figura 1.9), brevettato nel 1764 da Thomas Hights nel pieno della rivoluzione industriale. Il macchinario era dotato di una ruota a manovella che, se attivata da un operatore, innescava la rotazione di otto fusi di legno provocando la torsione del filo e il suo raccoglimento attorno ad un fuso: in questo modo un solo operaio riusciva a filare più fili contemporaneamente, mentre con i precedenti telai a mano l’operazione era molto più lenta. Ciò permise una forte riduzione della manodopera che si rivelò un grandissimo vantaggio per le industrie americane.

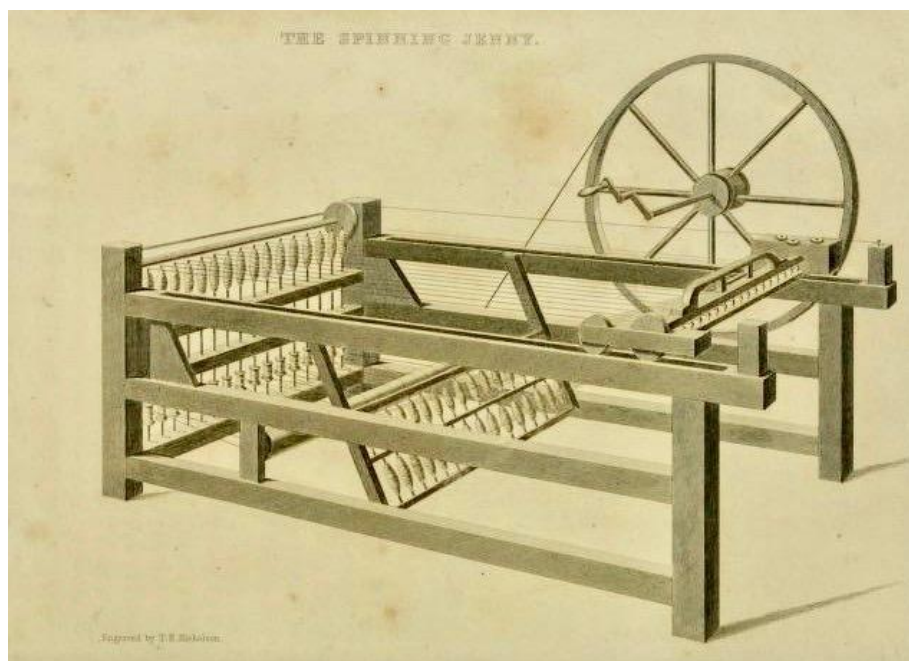


Figura 1.9 – Il filatoio Spinning Jenny, inventato da James Hargreaves nel 1764.

A questa prima, rivoluzionaria invenzione seguì in Inghilterra il filatoio idraulico "water-frame" (Figura 1.10), inventato da Richard Arkwright nel 1769. Il nuovo strumento produsse un'importante svolta nella confezione dei fili di ordito, sostituendo con cilindri in legno e metallo le dita umane, rendendo possibile che, da filati poco costosi, fossero prodotti tessuti a buon mercato, gettando le basi per il successo della grande industria del cotone. Nel 1784 l'inglese Edmund Cartwright brevettò il primo telaio meccanico, un'invenzione che permetteva di produrre tele lisce ad una velocità dieci volte superiore rispetto ai telai a mano.





Figura 1.10 – Il filatoio idraulico water-frame. inventato nel 1769 da Richard Arkwright.

I metodi di lavorazione sempre più standardizzati che necessitavano di una minore manodopera portarono, nella prima metà dell'Ottocento, a forme di dura rivolta, come quella del luddismo, un movimento di protesta operaia dell'inizio del XIX secolo, in cui i lavoratori sabotarono i macchinari industriali. Vicende simili si ripeterono in Francia e in Belgio, che già avevano assistito ad alcuni precedenti nel Trecento a causa dell'introduzione della gualchiera, un macchinario per l'impermeabilizzazione della lana. Dopo essere stato represso, con il crollo dell'impero napoleonico e la diffusione di nuove ideologie politiche, il luddismo perse mano a mano forza e scomparve definitivamente intorno agli anni '30 dell'Ottocento.

Oggi il settore laniero è principalmente sviluppato in paesi extraeuropei come Cina e Turchia, con l'Italia che si distingue come maggior produttore europeo e secondo esportatore mondiale dopo il colosso cinese. Tuttavia la produzione di indumenti di lana è in fase di diminuzione, principalmente a causa dell'avvento dei tessuti sintetici, come il poliestere, facilmente lavabili e meno costosi.

2 – CARATTERISTICHE

1. Composizione chimica della lana

La lana è costituita per l'85% da cheratina, una proteina contenente zolfo (Figura 2.1), per il 12% da proteine non contenenti zolfo, per l'1-2% da sostanze lipidiche e per la restante percentuale da sali minerali.

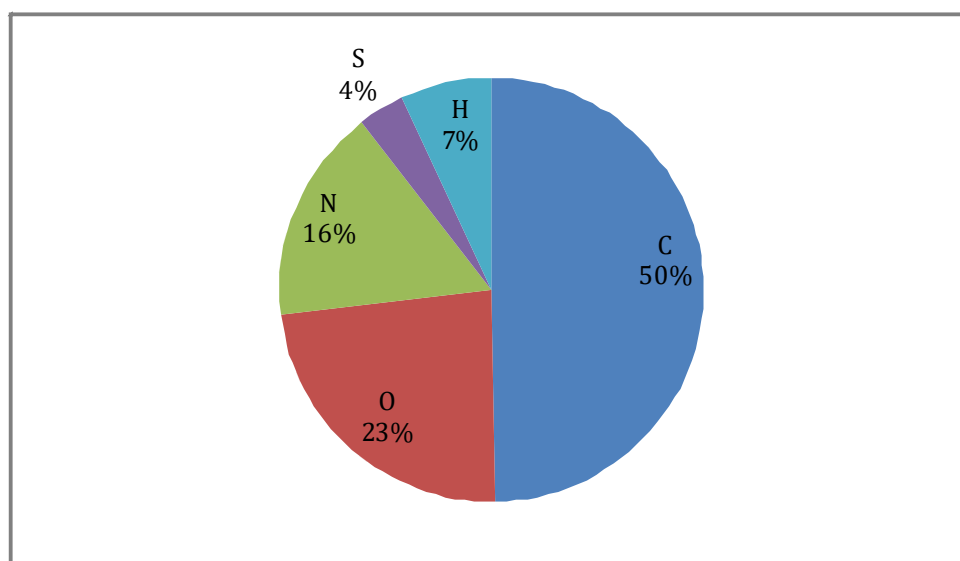


Figura 2.1 - Concentrazione percentuale di H, S, C, N, O all'interno della cheratina.

Le varie tipologie di lana presentano proteine che si differenziano per la tipologia e la quantità di amminoacidi; nella tabella 2.1 è presa in esame la composizione in amminoacidi della lana merino riferita al prodotto idrolizzato ed espressa in moli %.

<i>Acido glutammico</i>	<i>15,22</i>	<i>Acido aspartico</i>	<i>7,19</i>
<i>Cistina</i>	<i>11,34</i>	<i>Triptofano</i>	<i>6,39</i>
<i>Cisteina</i>	<i>0,14</i>	<i>Tirosina</i>	<i>6,34</i>
<i>Cistina SO₃H</i>	<i>0,60</i>	<i>Valina</i>	<i>5,62</i>
<i>Serina</i>	<i>10,79</i>	<i>Glicina</i>	<i>5,59</i>
<i>Arginina</i>	<i>9,79</i>	<i>Alanina</i>	<i>4,58</i>
<i>Leucina</i>	<i>9,06</i>	<i>Lisina</i>	<i>3,92</i>
<i>Isoleucina</i>	<i>3,20</i>	<i>Fenilalanina</i>	<i>3,51</i>
<i>Prolina</i>	<i>7,93</i>	<i>Istidina</i>	<i>1,07</i>

Tabella 2.1 – Composizione della lana merinos riferita al prodotto idrolizzato espressa in moli %.



Ciascun amminoacido assume un ruolo chiave per determinare la struttura e il funzionamento della proteina, ad esempio la cisteina, grazie al suo gruppo funzionale -SH, è in grado di formare con altre molecole ponti disolfuro (S-S) che contribuiscono alla stabilizzazione della struttura terziaria.

I lipidi della lana sono costituiti per il 40% da steroli (es. colesterolo), 30% da lipidi polari (es. sfingolipidi) e 25% da acidi grassi.

Impurità

La lana allo stato grezzo o sucido, possiede una percentuale di materiale estraneo che varia dal 15% al 72%. Le fibre sono infatti riunite in ciocche grasse e cerose, per questo difficili da separare, derivanti dalla secrezione delle ghiandole sebacee e sudoripare e dalla degradazione della cheratina. Il vello contiene inoltre in gran parte sostanze come sabbia, terra, fili d'erba ecc., raccolte durante il pascolo. Queste sostanze si distinguono in due gruppi principali: *suint* e *suinthin*, rispettivamente solubili e insolubili in acqua. Il primo è formato da sali potassici di acidi grassi, fosfati, solfati, cloruri di potassio, calcio, ammonio, da urea e suoi derivati. Il secondo, che prende anche il nome di *grasso di lana*, *cera di lana* o *lanolina*, nonostante la sua insolubilità, può essere emulsionato attraverso l'uso di sostanze chiamate tensioattivi. La lanolina si estrae dal vello trattandolo con soluzioni alcaline e tensioattivi; l'emulsione viene poi centrifugata o suddivisa, abbassando il pH da 10,5 a circa 3 e successivamente purificata. Nella sua composizione chimica si trovano esteri di acidi grassi e acidi grassi liberi, tra cui il palmitico e, in piccola percentuale, l'oleico, lo stearico e il butirrico. Questa sostanza di "scarto", grazie alle sue proprietà emollienti, assorbenti, disinfettanti e ammorbidenti, trova largo impiego nell'industria del cuoio, cosmetica e anche farmaceutica (Figura 2.2).

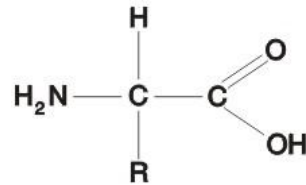


Figura 2.2 – Impasto di lanolina utilizzabile per la creazione di creme o cosmetici.

Approfondimento

Gli amminoacidi

Gli amminoacidi sono i monomeri costituenti di base delle proteine. Sono composti organici così chiamati per la presenza nella loro struttura sia di un gruppo funzionale acido (gruppo carbossilico, $-\text{COOH}$), sia di un gruppo amminico ($-\text{NH}_2$) basico.



In base alla natura del radicale R, gli amminoacidi possono essere polari o non polari (Figura 1).



Figura 1 – L'acido glutammico (a sinistra) e l'alanina (a destra) rispettivamente esempi di amminoacido polare e non polare.

Nelle proteine gli amminoacidi si legano tra loro grazie alla reazione fra il gruppo carbossilico di un amminoacido e il gruppo amminico, con formazione di un legame detto peptidico (Figura 2). Nella reazione detta di policondensazione viene eliminata una molecola di acqua per ogni legame formato.



Figura 2 – Formazione del legame peptidico.



2. La classificazione delle fibre tessili

Le fibre tessili si suddividono in naturali e tecnofibre (man-made), a seconda della loro origine.

Le fibre naturali si trovano già in natura sotto forma di filamenti più o meno lunghi e, come illustrato in Figura 2.3, possono a loro volta avere origine da animali o piante; esempi di fibre di origine animale sono la fibra di lana o quella di seta; il cotone e il lino sono invece fibre di origine vegetale.

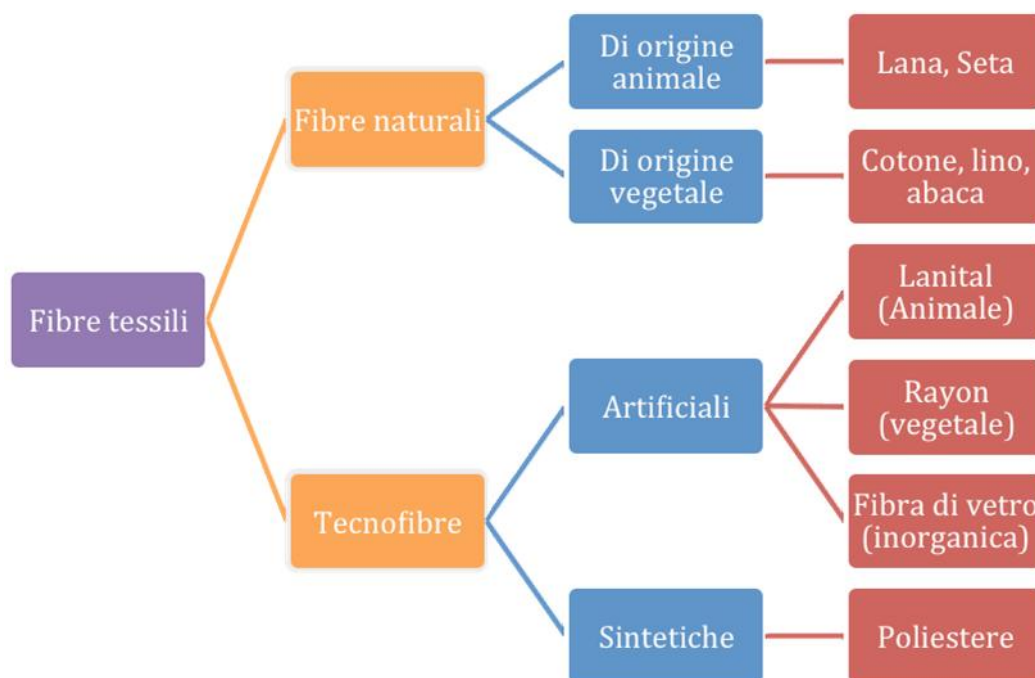


Figura 2.3 – Schema classificazione fibre tessili.

Le tecnofibre vengono suddivise in artificiali e sintetiche; quelle artificiali sono prodotte dall'uomo partendo da materie prime polimeriche di origine naturale, ne sono esempio il lanital, il rayon e la fibra di vetro. Quelle sintetiche derivano invece da *polimeri* sintetici, cioè molecole di grandi dimensioni, macromolecole, create dall'uomo. Il poliestere (Figura 2.4) è un esempio di tecnofibra sintetica.



Figura 2.4 - Fibra di poliestere.

Fino all'inizio del secolo scorso le fibre naturali non avevano rivali: infatti, solo a partire dai primi anni del ventesimo secolo si cominciarono a scoprire le prime tecnofibre. Per citare un esempio, la viscosa o seta artificiale venne inventata nel 1883 e prodotta a livello industriale nel 1906. Le nuove fibre avevano svariati vantaggi: il prezzo, la resistenza, l'impermeabilità, solo per citarne alcuni. Tuttavia, le prime invenzioni presentavano allo stesso tempo alcuni svantaggi, come nel caso della viscosa che è altamente infiammabile; molti di questi difetti vennero risolti, ma tutt'oggi molte tecnofibre, in par-

ticolare quelle originate dai derivati del petrolio, sono facilmente infiammabili o si rovinano se sottoposte a lavaggi caldi.

La composizione chimica della maggior parte delle fibre tessili è riconducibile a macromolecole organiche.

Le fibre naturali di origine animale sono composte principalmente da cheratina, una proteina che costituisce i peli e i velli degli animali. Nel caso degli animali serigeni, che secernono filamenti utilizzati per ottenere la fibra tessile, la fibra è costituita in gran parte da un'altra proteina, la fibroina. Le fibre naturali di origine vegetale, invece, sono composte da cellulosa, un polisaccaride costituito da molte molecole di glucosio ($C_6H_{12}O_6$).

Le fibre artificiali di origine animale derivano da proteine animali, come la caseina del latte nel caso del lanital; quelle fibre artificiali di origine vegetale, sono generate o da proteine estratte da semi, o da cellulosa trattata in laboratorio. Le fibre artificiali inorganiche di origine minerale sono la fibra di vetro, composta da silice addizionata a carbonato di sodio o acido borico e borace, e le fibre metalliche.

Le fibre sintetiche vengono classificate in base alla famiglia di appartenenza dei polimeri costitutivi: poliolefiniche, poliaccriliche, poliammidiche, poliesteri, poliuretaniche ed elastomeriche ottenute da gomme sintetiche.

Approfondimento

I polimeri

I polimeri, che sono chiamati anche macromolecole per il loro elevato peso molecolare, sono lunghe catene di unità ripetitive, i monomeri (Figura 1), legate tra loro sempre dallo stesso tipo di legame, il legame covalente (Figura 2).



Figura 1 – Le unità ripetitive, i monomeri.

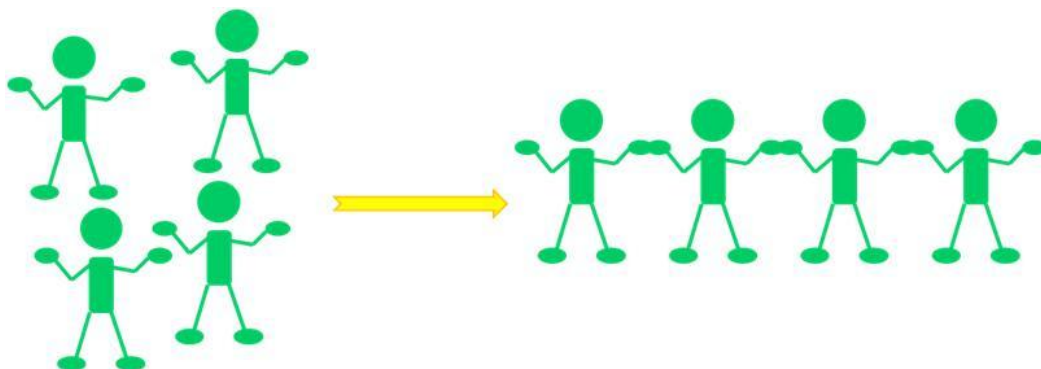


Figura 2 – Polimerizzazione.



I polimeri possono essere ulteriormente classificati in base ai monomeri che li costituiscono: se i monomeri sono tutti uguali, allora il polimero si denominerà omopolimero; se invece è costituito da due monomeri differenti, allora si denominerà copolimero, se da tre terpolimero e così via.



omopolimero



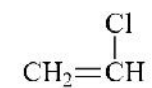
copolimero



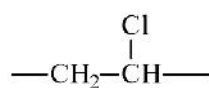
terpolimero

I polimeri che si trovano già in natura si definiscono polimeri di origine naturale; quelli ricreati o modificati in laboratorio da polimeri naturali già esistenti, si chiamano polimeri artificiali.

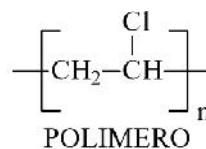
Si parla invece di polimeri sintetici quando ci si riferisce a composti creati in laboratorio, partendo da monomeri che non si trovano in natura; un esempio è il cloruro di polivinile (PVC), che si ottiene dalla polimerizzazione del cloruro di vinile, $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{Cl}$ (Figura 3).



MONOMERO



UNITA' STRUTTURALE



POLIMERO

Cloruro di polivinile

Figura 3 – Il PVC.



3. Le cheratine

Le cheratine sono una famiglia di proteine fibrose, insolubili in acqua e in soluzioni debolmente acide o basiche, resistenti alle proteasi, presenti nei rivestimenti di tutti i vertebrati terrestri; vengono prodotte da cellule dell'epidermide dette cheratinociti, nel cui citoplasma si trovano immerse sotto forma di filamenti intermedi.

La composizione chimica presenta un alto contenuto (pari a circa il 3%) di un amminoacido solforato, la cisteina (Figura 2.5), responsabile dell'odore caratteristico a seguito di una combustione, e che influenza la rigidità della proteina.

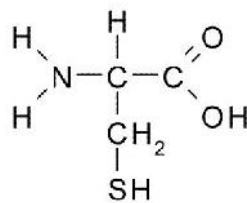


Figura 2.5 – Molecola di cisteina.

La cheratina può presentarsi in due forme morfologicamente diverse in base alla struttura secondaria, che può essere ad *elica* o a *foglietto pieghettato*: si parla quindi di α -cheratina, presente nei mammiferi, e β -cheratina, negli uccelli e nei rettili (Figura 2.6). Nella lana sono presenti solamente β -cheratine, che si trasformano in α -cheratine se la fibra viene sottoposta a tensione.

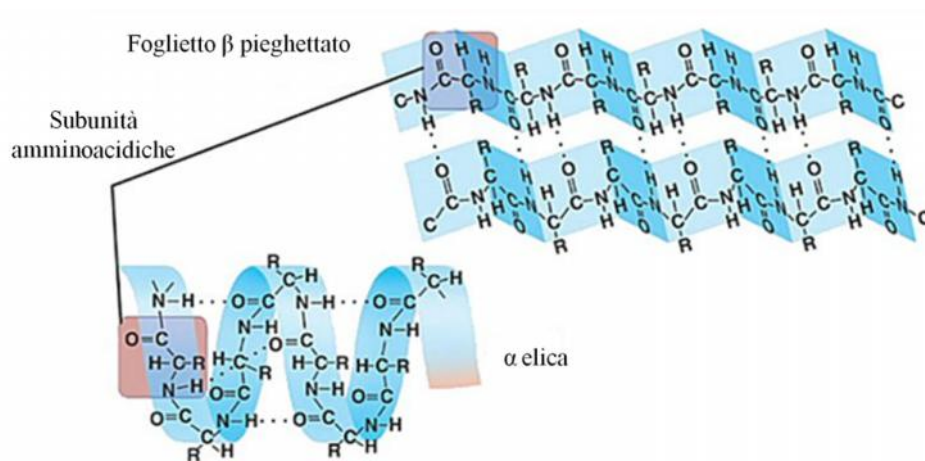


Figura 2.6 – Struttura ad α -elica e a foglietto β -pieghettato.

Il tipo di struttura dipende dalla composizione amminoacidica e, di conseguenza dal tipo dei legami chimici che si stabiliscono fra le catene laterali: possono essere presenti interazioni intercatena, che coinvolgono residui di amminoacidi appartenenti a catene polipeptidiche diverse e che favoriscono la formazione di zone cristalline, oppure intracatena, che tendono a creare zone amorfe e che si stabiliscono fra gruppi R disposti sulla catena stessa (Figura 2.7).



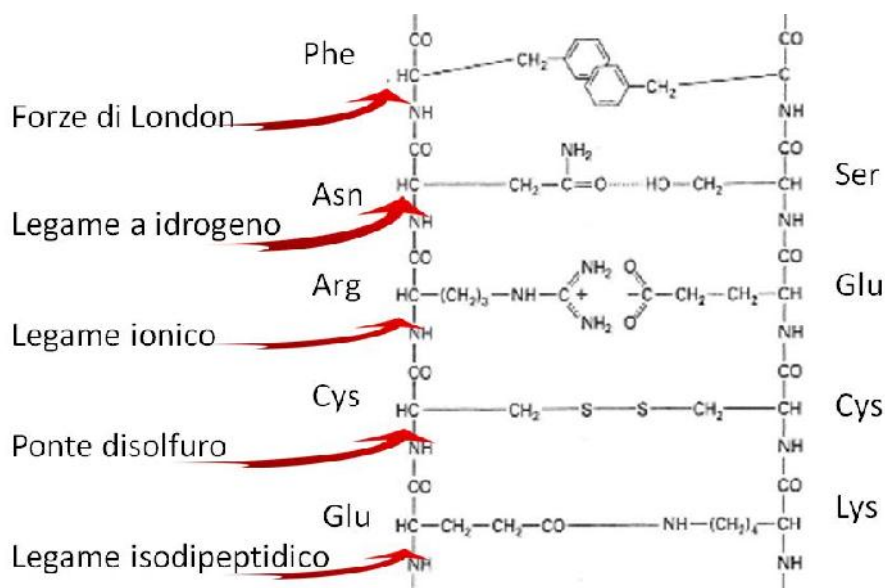


Figura 2.7 – Esempi di legami presenti fra gruppi R di una catena polipeptidica.

In particolare sono presenti:

- ponti salini: legami ionici tra gruppi di carica opposta, in genere tra gruppi $-\text{NH}_3^+$ e $-\text{COO}^-$;
- ponti cistinici: veri e propri legami covalenti, formati tra due gruppi $-\text{SH}$ appartenenti a due differenti residui di cisteina;
- ponti ad idrogeno: coinvolgono atomi di idrogeno, con una parziale carica positiva ($^+$) essendo legati covalentemente a elementi molto elettronegativi (fluoro (F), ossigeno (O), azoto (N)), che vengono attratti da atomi elettronegativi vicini.

Le proteine della lana sono tutte α -cheratine, che vengono classificate in base alla loro composizione in amminoacidi:

Frazione proteica	% massa	Numero amminoacidi	% in massa di zolfo	Caratteristica
Basso contenuto di zolfo	58	392 - 416	1,5 - 2	< 16 % mol cisteina
Alto contenuto di zolfo	18	94 - 211	4 - 6	16 - 24% mol cisteina
Ultra-alto contenuto di zolfo	8	168 - 197	8	33- 37% mol cisteina
Alto contenuto di glicina e tirosina	6	61 - 84	0,5 - 2	16 - 24% mol glicina e tirosina

L'organizzazione di un' α -cheratina è piuttosto complessa e viene detta "*struttura a spirale superavvolta*": una conformazione caratterizzata da più catene ad α -elica intrecciate e stabilizzata da interazioni idrofobiche tra i residui apolari lungo l'elica (Figura 2.8).



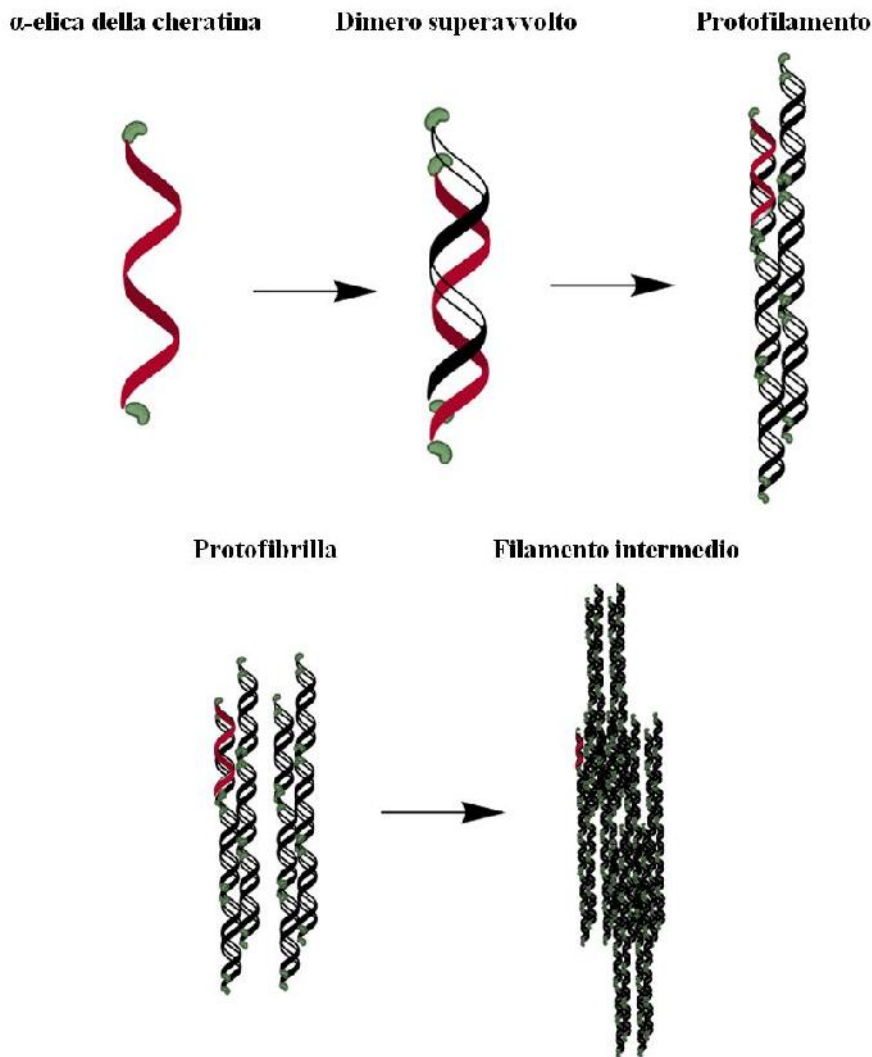


Figura 2.8 – Struttura di un' α -cheratina.

Due α -eliche destrorse si avvolgono e formano un dimero che, attraverso un'associazione testa-coda, si lega con un altro dimero e forma dei protofilamenti. Questi ultimi, disponendosi in cerchio, generano una protofibrilla; il legame con ponti di zolfo di quattro protofibrille fa sì che si crei una microfibrilla. Ogni microfibrilla segue il motivo "9+2" che consiste nell'unione di 11 protofilamenti o protofibrille, nove organizzati in cerchio e due al centro. L' α -cheratina è, inoltre, in grado di realizzare legami trasversali tra catene polipeptidiche adiacenti, ad esempio tramite ponti disolfuro o legami isopeptidici fra un gruppo carbossilico ($-\text{COOH}$) e un amminico ($-\text{NH}_2$), situati lateralmente sulla catena. Sono proprio questi legami ad influenzare le reazioni della fibra di lana quando viene sottoposta a vari trattamenti quale, ad esempio, un riscaldamento in acqua bollente.



4. Le proprietà della lana

In questa sezione vengono descritte le principali caratteristiche della lana. Queste proprietà tuttavia non sono costanti, ma risultano influenzate dalle condizioni ambientali quali, ad esempio, la temperatura e l'umidità. Le fibre di lana sono caratterizzate da un'arricciatura che tende ad assumere forma elicoidale con un maggior numero di ondulazioni nei tipi più fini. Tale struttura conferisce elasticità e coesione alle fibre, ne migliora la resistenza all'usura, la voluminosità, la termocoibenza e la resilienza. Il calore umido, riducendone l'arricciatura, diminuisce queste qualità.

Nella tabella 2.2 sono elencati i valori delle principali proprietà fisiche della lana.

Proprietà	Valori
Peso specifico	1,31 – 1,32 (g/cm ³)
Tenacità – secco	10,5 – 14,6 (cN/tex)
Tenacità – umido	6,1 – 14,1 (cN/tex)
Conducibilità termica	0,03 (W/mK)
Allungamento a rottura	35 – 25 %
Temperatura di combustione	205 °C
Calore specifico	0,325-0,326 (Kcal/Kg °C)
L.O.I. (Indice Limite di Ossigeno)	25 %

Tabella 2.2 – Principali parametri fisici delle fibre di lana.

Tenacità

La tenacità è la resistenza alla rottura della fibra. Si esprime generalmente in cN/dtex (cN è l'abbreviazione per centinewton, corrisponde perciò a 0,01 Newton; il tex è un valore di densità lineare, una misura di massa per unità di lunghezza, che corrisponde a un grammo al chilometro). I valori di tenacità indicano il comportamento del materiale al limite estremo della sollecitazione. La lana è caratterizzata da valori di tenacità non molto elevati, generalmente inferiori alle altre fibre naturali (cotone, lino, seta) e a molte fibre sintetiche (nylon, acrilico, poliestere).

Elasticità

L'elasticità è la proprietà che permette alla fibra di allungarsi se sottoposta a tensione. Le fibre di lana, rispetto ad altre fibre tessili, presentano una maggiore estensibilità, un minore sforzo a rottura, vale a dire che è necessario un minore carico per determinare la rottura della fibra, e un'elasticità maggiore se umide o bagnate mostrando un atteggiamento simile a quello dei capelli. Questo comportamento è chiaramente evidenziato dall'andamento delle curve sforzo-deformazione riportate nel grafico (Figura 2.9) che sono state ottenute ponendo le fibre di lana in un ambiente con un certo valore di umidità relativa, indicato di fianco a ogni curva, e a temperatura costante.



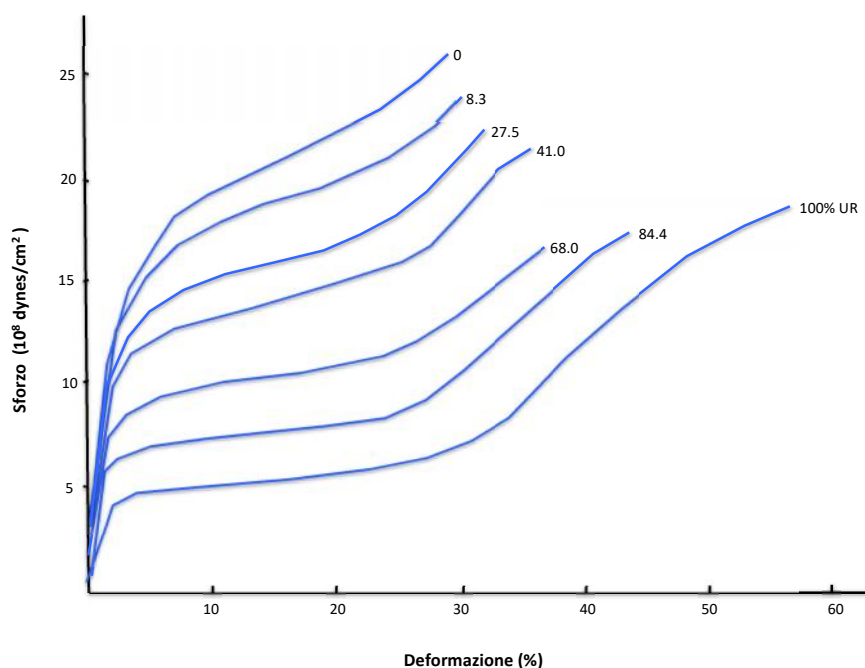


Figura 2.9 – Grafico sforzo-deformazione di alcune fibre di lana a diverso contenuto di acqua (il dyne è un'unità di misura del sistema CGS, esprime la forza e corrisponde a 10^{-5} N), (da Hearle, Chapman, Senior 1971, modificato).

Flessibilità

La lana è caratterizzata da un'elevata flessibilità. Una fibra di lana può essere piegata su se stessa più di 20.000 volte senza rompersi, rispetto alle circa 3.000 volte per il cotone e 2.000 volte per la seta.

Resilienza

È la capacità di assorbire lavoro meccanico senza subire deformazioni permanenti. La lana, grazie alla struttura delle catene polipeptidiche dalle quali è composta, si comporta come una molla: si estende quando sottoposta a trazione e si ritrae quando cessa la trazione. Un tessuto di lana ad esempio, se sottoposto ad un'azione deformante, ritorna al suo stato iniziale anche se lentamente. Può essere esteso fino al 50% della sua lunghezza originale, quando è bagnato, e fino al 30% della sua lunghezza originale, quando asciutto, ma tornerà alla sua dimensione originale quando la tensione applicata cessa. Il ritorno alle condizioni iniziali viene accelerato dall'umidità.

Feltrabilità

È l'unione delle fibre tra loro per l'azione combinata dello sfregamento, del calore e dell'umidità. È dovuta alla struttura a scaglie delle fibre, infatti esse sono disposte come tegole di un tetto nello stesso senso e verso la punta della fibra; in questo modo le fibre sono in grado di scorrere liberamente fra loro in un verso ma nell'altro sono ostacolate. Il risultato è un sollevamento delle fibre che facilita così l'aggrovigliamento della lana.

Igroscopicità

Grazie a questa caratteristica la lana è capace di assorbire umidità fino al 30% del peso senza subire alterazioni o mutazioni di forma. Le molecole di acqua, di piccole dimensioni, mobili e polari, sono



in grado di penetrare tra le fibre, interagire con gli amminoacidi idrofili e formare legami a idrogeno con alcuni residui, tipo quelli carbonilici o ossidrilici

Ciò fa sì che la fibra sia in grado di attrarre e incorporare molecole di acqua nella struttura stessa, a differenza di quanto avviene per esempio nella spugna, dove l'assorbimento è di natura capillare. Perciò in caso di clima umido o di intensa sudorazione, la lana assorbe l'umidità e la cede poi lentamente all'ambiente circostante, evitando un improvviso raffreddamento del corpo.

Termocoibenza

È la capacità di isolamento termico (freddo e caldo). La capacità di isolamento delle fibre tessili è in funzione della quantità di aria che esse riescono ad intrappolare: il potere isolante aumenta con l'aumentare della quantità di aria catturata. Le scaglie della lana conferiscono alla fibra una certa ruvidezza e ne aumentano la superficie. Grazie a tali caratteristiche le fibre di lana riescono a immagazzinare e a trattenere una maggiore quantità di aria. Diversi tipi di lana presentano differenti valori di coibenza e, generalmente, le lane più pregiate sono caratterizzate da valori di coibenza più elevati (lana Merino). Il coefficiente di conducibilità termica della lana di pecora è di 0,03 W/mK, conferendogli una capacità di isolamento termico, costante anche in presenza di umidità, superiore a qualsiasi altro materiale naturale. Il calore specifico della lana è di 0,325-0,326 Kcal/Kg °C.

Combustione

La lana è un tessuto parzialmente ignifugo grazie all'umidità trattenuta dalle proprie fibre. Infatti l'indice del limite dell'ossigeno (L.O.I.), ossia il valore che indica la quantità minima di ossigeno necessaria alla fibra per bruciare, è 25%, che è superiore alla percentuale di ossigeno nell'aria; questo spiega perché la lana prende fuoco difficilmente. Nelle fibre di lana, inoltre, la fiamma non si propaga, sviluppa poco calore e poco fumo e non si scioglie, evitando così pericolose ustioni da materiale incandescente. Se bruciata rilascia nell'aria molecole di anidride carbonica e zolfo, a causa della rottura dei ponti disolfuro.

Resistenza

La lana possiede la capacità di resistere all'azione degli acidi, mentre è particolarmente sensibile, soprattutto a caldo, agli agenti alcalini. La sua struttura elicoidale ne aumenta la resistenza all'usura, mentre la sua composizione chimica la rende resistente agli attacchi di muffe e batteri; tuttavia non è immune alle tarme.

Ingiallimento

Le fibre di lana tendono ad ingiallirsi se sottoposte alla luce solare e si indeboliscono per azione del calore. Una lunga esposizione delle fibre lanose alle radiazioni UV ($\lambda < 380$ nm) porta, attraverso processi di foto-ossidazione e deterioramento foto-chimico, a un ingiallimento e decadimento delle caratteristiche meccaniche, con conseguente fragilimento. Il processo si compone quindi di diverse fasi, mostrate in Figura 2.10, la cui velocità varia a seconda delle condizioni di umidità; infatti la velocità di ingiallimento è meno elevata in condizioni di secchezza.





Figura 2.10 – Fasi dell'ingiallimento della lana.

Proprietà elettriche

La lana secca non è in grado di condurre elettricità, se invece è umida diventa un conduttore.



5. Struttura morfologica della fibra di lana

La fibra della lana è costituita da una parte esterna chiamata cuticola, composta a sua volta da tre strati; il primo di questi strati è l'*epicuticola*, membrana idrofobica che protegge la fibra. Questo strato è l'unica parte non proteica, composta da sostanze cerose e impermeabili, fornita di fori sottilissimi che permettono il passaggio di vapore acqueo o altre piccole molecole. Al di sotto vi è un secondo strato chiamato *exocuticola* o *esocuticola*, formata da scaglie, tutte disposte nel senso della

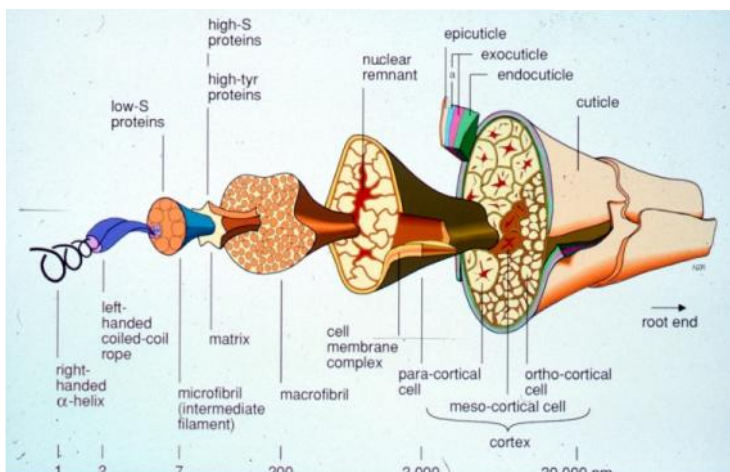


Figura 2.11 - La struttura di una fibra di lana

punta della fibra. L'ultimo strato, il più interno, è l'*endocuticola* che è l'unica parte che tende a gonfiarsi quando viene a contatto con l'acqua.

Questa disposizione (Figura 2.11) è fondamentale per alcune proprietà della lana, come il potere feltrante, infatti in soluzione alcalina (acqua e sapone) e con acqua calda, la lana infeltrisce piuttosto rapidamente: le microscopiche squame si aprono in acqua e vengono a contatto con quelle delle fibre vicine; con il movimento e la pressione le fibre si incastrano tra loro in una struttura compatta e resistente.

La lana infeltrendosi si restringe: la sua percentuale di ritiro di solito varia dal 30 al 50% circa rispetto alla misura iniziale e dipende dalla sua finezza, dallo spessore utilizzato e dal tempo di lavorazione.

Al di sotto della cuticola si trova il *cortex* o *cortice*, formato da cellule fusiformi cheratinizzate contenenti fasci di microfibrille proteiche, con struttura ad α -elica, attorcigliate tra di loro. Al centro della fibra delle lane meno pregiate è presente una cavità detta midollo, contenente residui cellulari; queste lane sono più difficili da filare e da tingere.

Il cortex è diviso in due parti: l'*ortocortex* e il *paracortex*, con caratteristiche molto diverse l'una dall'altra. Nell'*ortocortex* infatti si trovano cellule più corte e larghe, con residui nucleari assenti, più reattive, che, in ambiente basico, si tingono più intensamente e si gonfiano maggiormente rispetto alle cellule del *paracortex*. Questa grande differenza tra le caratteristiche delle due parti è dovuta alla presenza nell'*ortocortex* di ponti intracatena, (all'interno della stessa catena) che, ostacolando la coesione tra le molecole, non permettono la loro disposizione in maniera ordinata; al contrario, nel *paracortex*, la presenza di ponti intercatena (tra una catena e l'altra) favorisce la formazione di zone più ordinate e compatte, rendendole più difficilmente aggredibili da reattivi chimici.



3 - UTILIZZI

1. Produzione di lana nell'industria tessile

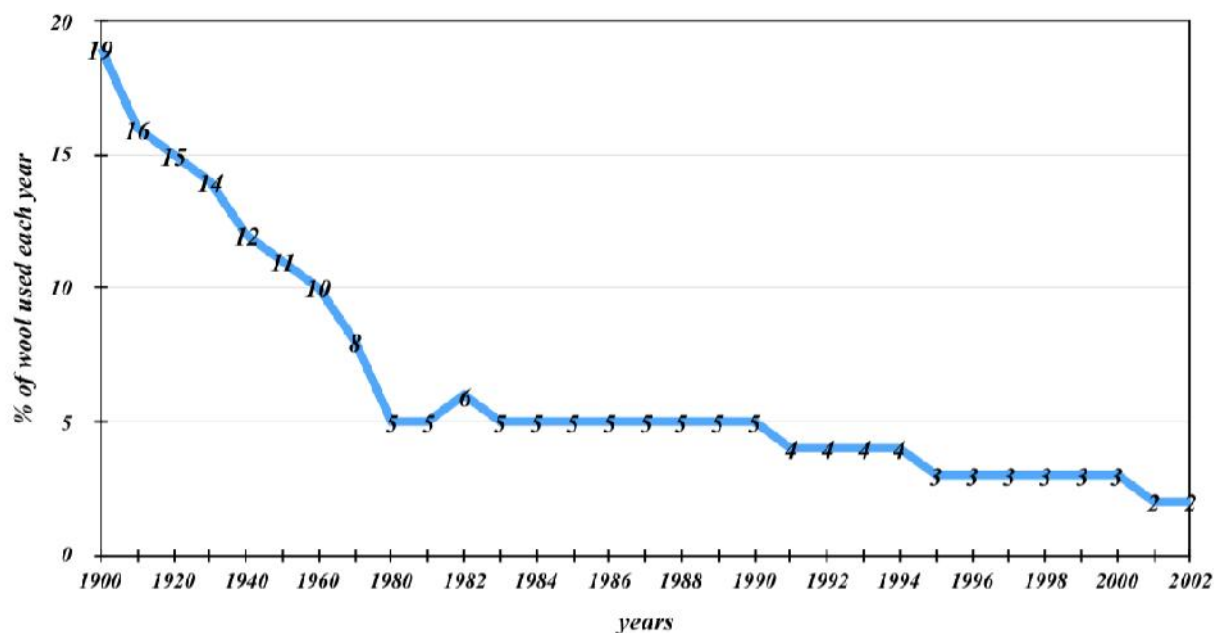


Figura 3.1 – Il grafico mostra la percentuale di lana impiegata nel settore tessile a partire dal 1900 fino al 2002.

La lana è il prodotto primario dell'allevamento ovino. Negli ultimi anni, tuttavia, essa sta affrontando un periodo di forte crisi dovuto principalmente alla concorrenza nel settore tessile, il mercato più proficuo per questo tipo di fibra. Infatti, nei primi anni '90 la sua produzione ammontava a 3 milioni di tonnellate, mentre ora non supera i 2,2 milioni di tonnellate (Figura 3.1). Questo calo è causato dal maggiore interesse che, al giorno d'oggi, suscitano le fibre sintetiche, come per esempio il poliestere, che vengono preferite a quelle naturali per il loro prezzo competitivo.

Attualmente i più grandi produttori di lana sono Australia, Nuova Zelanda e Cina; sebbene le prime due abbiano risentito della crescente concorrenza di Cina ed India, che negli ultimi decenni hanno investito notevolmente nell'allevamento ovino, esse contribuiscono rispettivamente al 21 % e 10 % dell'offerta mondiale (Tabella 3.1).

Paese	Produzione nel 2007	Produzione nel 1997
Australia	21.4 %	30.4%
Cina	18.2 %	10.6%
Nuova Zelanda	10.0%	11.4%
Regno Unito	2.9%	2.7%
Italia	0.4%	0.5%

Tabella 3.1 – Il calo produttivo della lana tra 2007 e 1997 in alcuni dei maggiori Paesi produttori.



A livello europeo il Paese più attivo in questo settore è il Regno Unito, che attraverso l'organizzazione "The British Wool Marketing Board", coordina e gestisce la vendita della lana sia nel mercato nazionale sia in quello mondiale.

Per quanto concerne l'Italia, sebbene in passato avesse giocato un ruolo importante nella produzione di lana pregiata per il settore tessile, ora la lana italiana è sfavorita dal costo del ciclo e dall'insufficienza produttiva: la lana di razza non selezionata viene venduta a 0,50 €/kg e il ricavo non copre i costi della tosatura e della cura dell'animale. Oggi nel nostro Paese gli allevamenti di ovini vengono sfruttati principalmente per carne e latte.

Nonostante nel tempo l'impiego degli ovini sia cambiato e il loro vello non venga più sfruttato per la realizzazione di abiti di alta qualità, essi necessitano comunque della tosa. È stato calcolato che ogni anno in Europa vengono prodotte circa 200 tonnellate di lana (di cui il 10% solo in Italia), il cui smaltimento rappresenta un grave problema. La normativa europea igienico-sanitaria afferma che la lana deve essere considerata come un rifiuto speciale e pertanto imballata e trasportata in impianti specifici con gravosi oneri economici e ambientali perché, se inquinata da sporcizia e humus, può veicolare malattie ed infezioni. Di conseguenza non è più possibile procedere come si faceva in passato, quando la lana veniva abbandonata nei pascoli o veniva lasciata lentamente bruciare, con il conseguente rilascio nell'atmosfera di gas tossici e anidride carbonica. Per far fronte alla problematica dello smaltimento nell'ultimo decennio sono state avviate una serie di ricerche che hanno l'obiettivo di trovare un impiego alternativo ed ecosostenibile della fibra di lana. Tra queste spiccano l'uso della lana nella bioedilizia sotto forma di pannelli termoisolanti, nella biomedicina come bende per sanare le ferite, nell'agricoltura come fertilizzante o, infine, come depuratore delle acque dai minerali pesanti.



2. Agricoltura

Grazie all'uso delle nuove tecnologie, oggi la lana grezza, o quella di riciclo, può essere utilizzata anche nel settore agricolo come fertilizzante azotato; sebbene oggi siano ancora pochi gli enti che compiono ricerche in questo settore, in Italia è già stato avviato un progetto che ha portato a risultati eccellenti nel campo della fertilizzazione tramite il riciclo della lana: il progetto Greenwolf (Figura 3.2).

Gli enti coinvolti all'interno del progetto sono: l'ISMAC (Istituto per lo Studio delle Macromolecole) del CNR di Biella, il Politecnico di Torino e l'azienda meccanotessile Obem Spa.



Green hydrolysis conversion of Wool wastes into organic nitrogen Fertilisers

Figura 3.2 - Il logo del progetto Greenwolf

Il progetto si propone di ottenere una "lana idrolizzata", che può essere usata come fertilizzante naturale in grado di aumentare il contenuto di azoto e carbonio del terreno e la sua capacità di trattenere acqua.

Quando la lana viene trattata con acqua surriscaldata al di sopra dei 180 gradi circa, avviene un processo di idrolisi delle sue proteine con conseguente rilascio dell'**azoto** con azione fertilizzante; ciò



Figura 3.3 - L'apparecchiatura utilizzata nel progetto Greenwolf

che i ricercatori stanno cercando di mettere a punto sono i giusti parametri di temperatura, pressione e tempo.

Per produrre la lana idrolizzata, un carico di 6-20 Kg di materiale di scarto viene centrifugato a velocità di 12 giri al minuto per circa 30-90 minuti (in base alla quantità di lana), a temperatura costante di 180°C, all'interno di un impianto piuttosto simile, in quanto ad aspetto, ad una betoniera (Figura 3.3).

E' un trattamento completamente ecologico: non prevedendo il lavaggio della lana tramite solventi inquinanti e nocivi per l'ambiente, può essere considerato un processo di "idrolisi verde", i cui prodotti finali sono idrolizzati proteici, caratterizzati da amminoacidi e peptidi a basso peso molecolare.

Silvio Sicardi, ordinario di principi di ingegneria chimica del Politecnico di Torino, spiega:

"Non ci sono scarti. L'acqua viene completamente vaporizzata e l'acido solfidrico neutralizzato e trasformato in un solfato che va a finire nel fertilizzante".

In base, poi, al grado di idrolisi, possono essere regolate sia la velocità di rilascio di sostanze nutritive e bio-stimolanti, sia la capacità di trattenere acqua, rendendo perciò la lana idrolizzata un buon sostituto dei fertilizzanti oggi in uso. Gli idrolizzati proteici, inoltre, sono permessi in agricoltura e

sono particolarmente adatti alla fertilizzazione fogliare grazie proprio a queste loro proprietà biostimolanti.

Si ritiene che il fertilizzante ottenuto abbia sia un effetto concimante immediato, sia un effetto nutriente di lunga durata (fino a 5 mesi), fornendo gli elementi nutritivi di cui la pianta ha bisogno per l'intera stagione con una sola concimazione.

Grazie all'ottima capacità igroscopica della lana di pecora, il concime potrebbe anche aiutare a trattenere maggiormente l'acqua, consentendo alle piante di affrontare meglio i periodi più siccitosi.

Le caratteristiche del fertilizzante ottenuto dal processo potrebbero emulare, quindi, quelle degli ammendanti, agendo sul terreno con la loro stessa efficacia e apportando i loro stessi vantaggi.

I vantaggi del progetto sono sia ambientali, sia economici:

- Ambientali: riciclando la lana al 100%, questa non si accumulerà più nelle discariche, ma sarà utilizzata per fertilizzare terreni produttivi e redditizi come orti, pascoli, campi e giardini. In aggiunta, mantenendo le sue proprietà idrofile, potrebbe essere potenziata la capacità di trattenere le acque dilavanti, ad esempio nei terreni montani, riducendo il rischio di frane, migliorando le caratteristiche del suolo e sviluppando aree marginali. Evitando, poi, di impiegare, nel processo di idrolisi, materiali inquinanti prodotti dal lavaggio della cosiddetta "lana sucida", la lana viene sfruttata come risorsa rinnovabile.
- Economici: trasformando la lana di scarto in fertilizzante agricolo, si risolve il problema del costoso smaltimento di un rifiuto speciale. Possono essere ridotti anche i costi di trasporto del prodotto, poiché il progetto prevede di utilizzare piccoli impianti in loco, direttamente nelle zone di allevamento.

Il processo è progettato per essere a basso costo e senza l'utilizzo di reagenti chimici, dal momento che non vengono utilizzate basi, acidi, solfiti tossici o enzimi a costo elevato.

Potrebbero essere infine recuperate le lane di scarto fin dalla tosa e i cascami (la cosiddetta "lana sucida"), la lana rigenerata o i capi di abbigliamento a fine vita, aumentando così, sia l'occupazione, sia il profitto dell'allevamento ovino in Europa.



Approfondimento:

L'azoto

L'azoto é essenziale in ogni processo vitale delle piante, essendo il costituente specifico delle proteine e di altri composti vegetali fondamentali come le vitamine, gli enzimi e, soprattutto, la clorofilla.

A differenza degli organismi animali, le piante attuano la sintesi dei composti organici contenenti azoto a partire da materiali inorganici, quali i sali d'ammonio, i nitriti e i nitrati. Tali composti sono normali costituenti del terreno, ma il loro apporto è garantito anche da speciali meccanismi biologici nei quali vengono utilizzati sia l'azoto atmosferico, sia i prodotti di escrezione e di decomposizione degli organismi (Figura 1).

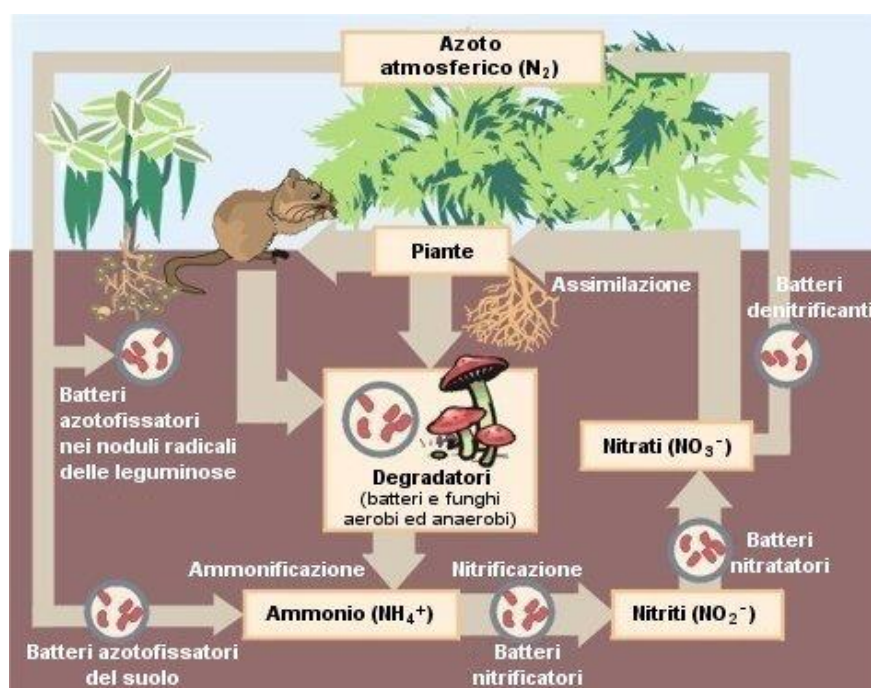


Figura 1 - Ciclo dell'azoto

La fissazione dell'azoto atmosferico (*azotofissazione*) non viene attuata direttamente dalle piante, ma richiede l'intervento di microrganismi aerobionti e anaerobi presenti in forma libera nel terreno, oppure di batteri del genere *Rhizobium*. Questi ultimi vivono in simbiosi con le radici di alcune leguminose in corrispondenza dei cosiddetti "noduli" e possiedono l'enzima "nitrogenasi" che catalizza la reazione.

In natura la trasformazione dell'azoto elementare in composti ammoniacali avviene anche per azione delle scariche elettriche e delle radiazioni ultraviolette.



Accanto alla fissazione biologica o fisica dell'azoto, nell'economia del metabolismo vegetale, ha grande importanza anche l'assorbimento dei composti azotati inorganici presenti nel terreno e l'apporto indiretto da parte dei residui organici vegetali e animali e dei prodotti di decomposizione della materia vivente.

La trasformazione delle sostanze azotate organiche in materiali inorganici assimilabili (*mineralizzazione*) avviene nel terreno attraverso una serie complessa di reazioni chimiche ed enzimatiche che comprendono:

- A) la formazione di sali d'ammonio (*ammonizzazione*) operata da speciali microrganismi appartenenti ai generi *Aspergillus*, *Mucor*, *Fusarium*, ecc.;
- B) l'utilizzazione dell'ammoniaca da parte di microrganismi autotrofi del genere *Nitrosomonas* con sintesi di sali dell'acido nitroso (*nitritazione*);
- C) la trasformazione dei nitriti in nitrati operata da Nitrobatteri (*nitratazione*). I processi indicati nelle fasi B e C prendono complessivamente il nome di *nitrificazione* dell'azoto. I nitrati assorbiti dalle piante, prima di essere utilizzati per la sintesi di materiali organici, subiscono nuovamente la trasformazione in ammoniaca.

Approfondimento

Fertilizzanti ammendanti

Con questo termine si indicano quei fertilizzanti che sono in grado di migliorare le proprietà fisiche del terreno allo scopo di facilitare la crescita delle piante, influenzando le proprietà chimiche e biologiche. Generalmente materiali con queste caratteristiche sono quelli contenenti argilla e sabbia o il letame, che viene utilizzato al fine di incrementare il valore di humus nel terreno per un'azione migliorativa della produzione.



3. Edilizia

La lana è un ottimo isolante naturale per le sue proprietà: infatti, essendo altamente igroscopica, riesce ad assorbire fino al 30 % dell'umidità dell'aria, impedendo al vapore acqueo in eccesso di condensare tra le fibre. Ciò permette una minore dispersione di calore e rende stabile il potere termoisolante.

La lana può essere inserita sotto forma di **pannelli coibenti** adatti all'isolamento di tetti ventilati e non ventilati, murature perimetrali e interne, solai e pavimenti. Questo rivestimento si adatta a tutte le tipologie di tetti, ma risulta particolarmente idoneo per essere applicato nelle strutture in legno, poiché, essendo igroscopica, garantisce il mantenimento di un giusto grado di umidità.

Dopo la tosatura, la lana viene detersa con il comune sapone di Marsiglia e la soda per rimuovere le impurità e il grasso. Per assicurare la durata nel tempo del materassino, la fibra deve essere cosparsa con agenti chimici che prevengano l'attacco di parassiti, tarme ed insetti. Dopo la cardatura, gli strati di lana ottenuti vengono impilati e pressati. Per conferire una maggiore stabilità e compattezza ai materassini, i veli vengono agugliati tramite dei sottili aghi verticali ed eventualmente viene aggiunta anche una griglia di sostegno in propilene. Inoltre, affinché i pannelli isolanti siano più rigidi, si può unire alla lana, la canapa e il poliestere, così da ottenere dei materassini composti dal 70% da lana di pecora, il 20% da canapa e il 10 % da poliestere.

Quando i pannelli di lana raggiungono la fine del loro ciclo di vita, essi possono essere riutilizzati dagli stessi produttori per creare della lana da tamponatura.

Negli ultimi anni, per rendere i pannelli il più possibile eco-sostenibili ed ecologici, si è iniziato a studiare delle soluzioni alternative all'impiego di sostanze derivate dal petrolio nella loro produzione. Una possibile opzione può essere l'utilizzo della cheratina come **collante tra i veli di lana**.

Lo spessore dei materassini non deve essere inferiore ai 5 cm e la loro densità ai 30 kg/m^3 .

I rotoli di lana (Figura 3.4) possono essere lavorati direttamente nei cantieri da artigiani esperti e posati a secco o mediante l'uso di ancoranti nelle intercapedini, nei sottotetti, al di sotto dei pavimenti e persino nei divisori in cartongesso.

I materassini di lana, inoltre, possono assorbire circa 13 grammi (per kg di pannello) di ossido di azoto, di zolfo e di formaldeide, gas inquinanti derivanti dalle emissioni delle caldaie, dal traffico e dalle sigarette. Nel momento in cui le sostanze tossiche vengono assorbite, subiscono un processo di trasformazione da parte delle fibre di lana che le rendono delle sostanze neutre e aiutano quindi a prevenire danni alla salute.



Figura 3.4 – Rotoli di materassini di lana da inserire nei tetti degli edifici. Le dimensioni e lo spessore possono variare a seconda delle esigenze e del luogo dove essi devono essere applicati

Infine, essendo la sua struttura cava, la lana è capace di catturare l'aria e con essa il rumore, così da attenuarlo. Pertanto i pannelli sono ideali anche per quelle stanze ove l'eco danneggia la qualità del suono (es. palestre, laboratori di lingua, sale conferenze, ecc.). Dopo essere stati applicati alle pareti, i materassini ammortizzano le onde sonore e le vibrazioni da esse prodotte; a causa della distribuzione, dell'elasticità e della struttura cave delle fibre l'energia viene assorbita e poi dispersa sotto forma di calore.

Come si può notare dalle fotografie al microscopio (Figura 3.5), le fibre di isolanti artificiali come lana di roccia o di vetro, riproducono la distribuzione caratteristica di quelle della lana, ma non ne possiedono le caratteristiche tipiche quali l'elasticità e la cavità.



Figura 3.5 – Fibre di lana (a sinistra) e di lana di vetro (a destra) al microscopio.

La lana quindi:

- è un isolante acustico e termico
- si mantiene nel tempo
- è ignifuga
- è altamente traspirante, assorbendo circa il 30 % del suo peso in umidità.

Non tutte le lane però sono ugualmente adatte per l'utilizzo in questo campo: la lana migliore è infatti quella di pecora lattifera, allevata per la produzione di latticini e di carne, perché ricca di cheratina e di lanolina.

Il più grande vantaggio che si ottiene dall'impiego della lana nell'edilizia, oltre a quello di utilizzare un materiale completamente biodegradabile e quindi a basso impatto ambientale, è il riciclaggio della lana cosiddetta “grossolana e a fibre corte”, che risulta essere inadeguata per il settore tessile. Tuttavia, a fronte di ciò, sono presenti anche degli svantaggi che sono, essenzialmente, il costo delle operazioni di lavaggio e lavorazione che la fibra deve subire prima di essere ufficialmente usata. Infatti la lana sucida dopo la tosa, a causa dell'odore pungente e dalla sporcizia che presenta in superficie, viene lavata in comuni lavatrici ad acqua con l'aggiunta di un prodotto chimico antitarma che ne assicura la durata nel tempo. Questo processo risulta essere piuttosto costoso: al riguardo, l'università di Camerino ha dimostrato che il consumo idrico è pari a 4 litri d'acqua per kg di lana e quello energetico si aggira attorno ai 12-18 kW per 20 kg di lana.



Ciò nonostante, la lana può essere veramente una valida alternativa ad altri materiali isolanti non solo per le sue proprietà tecniche, ma anche in termini di risparmio energetico. Infatti secondo Isolana™, uno dei maggiori produttori di pannelli isolanti in Italia, a partire dal calcolo sul costo energetico dei materassini è possibile anche quantificare il risparmio dell'emissioni di CO₂. L'azienda ha dimostrato, che se si rivestisse con un materassino, dello spessore di 10 cm e del peso di 3 kg per m², una casa di 100 m² che conta in totale 300 m² di involucro, si avrebbe un risparmio energetico di circa il 60%. Considerando inoltre che in media, a livello Europeo, le abitazioni consumano annualmente da 100 a 400 kwh al metro quadro per mantenere la giusta temperatura, un edificio che usa il vello di pecora come isolante "costerebbe" circa 450 kwh; consentirebbe, però, allo stesso tempo un risparmio annuo di 6.000 kwh. Ciò implica che in un poco più di un mese si sarebbe recuperata l'intera energia spesa, ma, contemporaneamente, si sarebbe evitata una quantità di emissioni pari a 2.100 kg di CO₂ e polveri sottili nell'arco di un anno.



4. Settore biomedico

La cheratina è un polimero naturale, biodegradabile (in vitro e in vivo) e biocompatibile che può essere ricavato, ad esempio dalla lana, e trasformato in materiali dalle proprietà innovative.

La si estrae, rompendo i legami di disolfuro, ad opera di agenti riducenti o ossidanti; tuttavia, una volta rigenerata, a causa del suo ridotto peso molecolare, ha scarse proprietà meccaniche che la rendono in concreto di difficile utilizzo. Da qui la necessità di mescolarla con altri polimeri, sia naturali che sintetici, dotati di migliori proprietà strutturali, come ad esempio il ossido di polietilene (PE-O), le poliammidi, la fibroina della seta, per estenderne i campi di applicazione.

E' possibile produrre nanofibre a base di cheratina attraverso il processo di *electrospinning* o *elettrofilatura*.

L'apparato strumentale (Figura 3.6) per l'elettrofilatura è costituito da:

- una siringa dosatrice con un ago capillare dove viene immesso il fluido polimerico in soluzione;
- una pompa volumetrica in grado di regolare il flusso nella siringa;
- un generatore di alta tensione;
- un collettore metallico (dispositivo di raccolta).

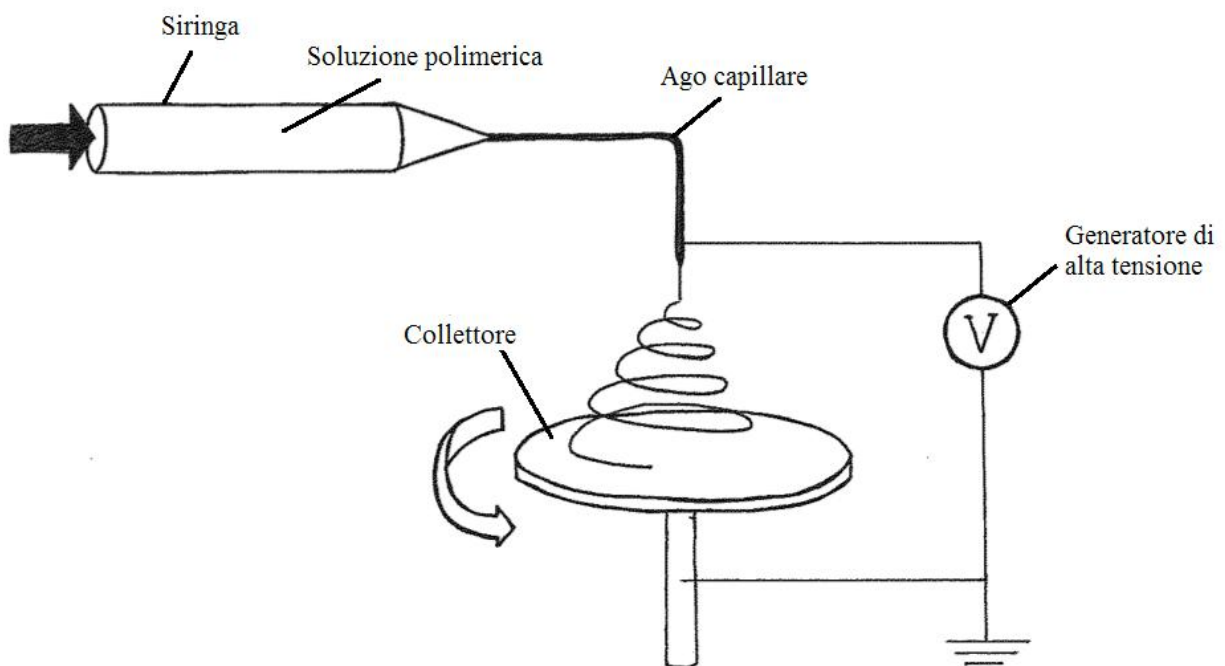


Figura 3.6 – Apparato di base per l'elettrofilatura di soluzioni polimeriche.

La soluzione polimerica presente nella siringa viene pompata attraverso il capillare; il generatore carica elettricamente la soluzione che è in grado così di sviluppare una geometria conica (cono di Taylor) e, attraversando il campo elettrico, viene accelerata e si assottiglia fino a creare un filamen-

to stirato. Durante il percorso verso il collettore il diametro diminuisce notevolmente per la rapida rotazione a spirale del getto accelerato con un movimento simile a una frusta.

Le nanofibre a base di cheratina grazie alle loro peculiari caratteristiche, quali l'elevata porosità, l'elevato rapporto superficie/volume, la loro ridotta dimensione paragonabile a quella delle fibrille della matrice extra cellulare, trovano una potenziale applicazione in ambito biomedico.

Possono essere di ausilio all'**ingegneria tissutale** per produrre *scaffold*, cioè supporti per la crescita cellulare, nello specifico per la proliferazione dei fibroblasti, cellule tipiche dei tessuti connettivali.

Questi supporti devono possedere alcune caratteristiche fondamentali: essere biocompatibili, cioè dare origine a reazioni immunitarie praticamente inesistenti una volta impiantati, avere un tasso di biodegradazione paragonabile a quello di formazione del nuovo tessuto, avere caratteristiche meccaniche ottimali e i loro prodotti di degradazioni devono essere avere tossicità molto bassa.

La cheratina offre un grande potenziale alla medicina rigenerativa per la presenza al suo interno di importanti sequenze di adesione cellulare quali RGD (arginina, glicina, acido aspartico) e LDV (leucina, acido aspartico, valina), oltre a migliorare la produzione di citochine anti-infiammatorie o a ridurre la quelle pro-infiammatorie.

Gli scaffold devono avere una struttura simile alla matrice extracellulare e una porosità tale da consentire la diffusione di gas, piccole molecole, metaboliti, ecc. necessari alle strutture viventi ed è necessario che non vengano colonizzati da batteri che possono indurre infezioni o che degradino il supporto. Per conferire proprietà antisettiche ed antibatteriche sono stati usati vari materiali quali polimeri cationici, ma molti di questi risultavano essere citotossici.

Molti fotosensibilizzatori esposti a luce visibile a bassa lunghezza d'onda in presenza di ossigeno generano radicali liberi, quali i ROS (Reactive Oxygen Species), che sono altamente citotossici ; di recente sono state realizzate spugne, ottenute dalla cheratina della lana, funzionalizzate con fotosensibilizzatori, che hanno dimostrato proprietà antibatteriche, sia verso batteri Gram-negativi (ad esempio *Klebsiella pneumoniae* o *Escherichia coli*), sia Gram-positivi (ad esempio *Staphylococcus aureus*), ma anche la capacità di funzionare come scaffold 3D per la crescita di fibroblasti in vitro.

La **terapia fotodinamica anticancro** si avvale di fotosensibilizzatori che, generando ROS, riducono la proliferazione cellulare, inducono apoptosi o necrosi, arrestano il ciclo cellulare; tuttavia molte di queste molecole presentano scarsa specificità e danneggiano quindi anche i tessuti circostanti, sono spesso altamente idrofobiche e tendono ad aggregarsi in ambiente acquoso, riducendo quindi la capacità di produrre ROS.

Ci si è quindi indirizzati sullo sviluppo di piccoli vettori in grado di portare i farmaci in modo selettivo verso i tessuti bersaglio in modo da ridurre la tossicità e aumentare l'efficacia terapeutica; la cheratina, essendo una proteina con una composizione chimica bilanciata fra amminoacidi polari e non-polari, consente di incorporare diverse tipologie di farmaci; nanoparticelle costituite da questa proteina hanno evidenziato *in vitro* eccellenti capacità di attraversare le membrane di cellule tumorali. In particolare, sono stati ottenuti buoni risultati nei confronti di tumori quali l'osteosarcoma o il glioblastoma, utilizzando nanoparticelle di cheratina coniugate con Clorina E6, un fotosensibilizzatore che può essere facilmente sintetizzato a partire dalla clorofilla.



Prodotti a base di cheratina vengono utilizzati anche nella **medicazione di ferite**: sono infatti dotati di traspirabilità e costituiscono una barriera contro i batteri, pur consentendo lo scambio di nutrienti e gas e la traspirazione degli essudati.

La guarigione di una ferita è dovuta anche alla capacità che hanno i cheratinociti di migrare e di proliferare, processo indispensabile per la riepitelizzazione. I prodotti a base di cheratina hanno mostrato effetti stimolanti sulla riparazione delle ferite e accelerato il processo di guarigione attraverso la stimolazione della migrazione di cheratinociti, la loro proliferazione e la produzione di proteine che compongono la membrana basale o che formano le fibrille di ancoraggio nelle giunzioni cellulari. (Figura 3.7).

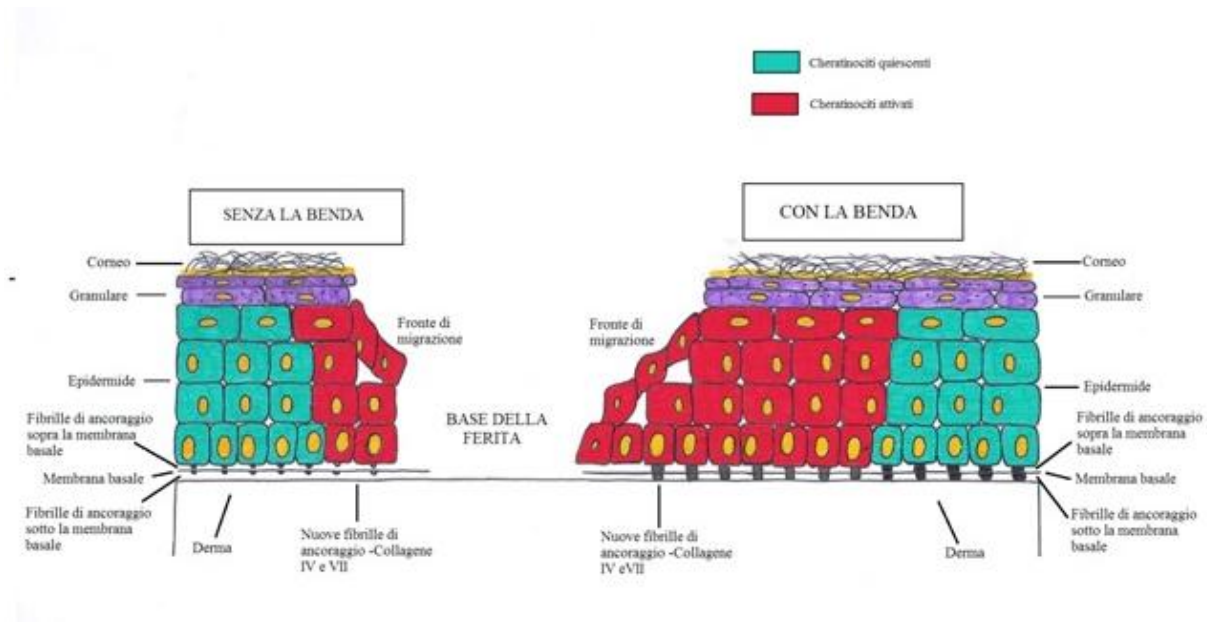


Figura 3.7 – Gli effetti dei prodotti a base di cheratina sulla riepitelizzazione.

L'efficacia clinica è stata dimostrata per la cura di ulcere, ustioni, lacerazioni della pelle, lesioni superficiali, ecc.; in particolare, si sono riscontrati tempi di cicatrizzazione più veloci e, di conseguenza, minori tassi di infezione e costi inferiori.

Questi prodotti vengono commercializzati sotto forma di:

- gel;
- matrici / bende ricche di proteine di cheratina bioassorbibili che si dissolvono nella ferita. I metodi tradizionali prevedono la sostituzione periodica delle bende per evitare l'infezione della ferita, ciò provoca una rimozione parziale dello strato di epidermide fino a quel momento rigenerato, allungando dunque il processo di guarigione;
- medicazioni multistrato, in cui la ferita è a contatto con una base di cheratina sostenuta da una schiuma di poliuretano altamente assorbente, progettate per ferite estremamente essudanti.

Come sviluppo ulteriore per la guarigione delle ferite, sono stati progettati film di cheratina per bende mischiati con blu metilene capaci di esercitare un'attività fotobattericida notevole contro lo *Staphylococcus aureus* se irradiati con luce visibile.



Nanofibre di cheratina trovano applicazione anche in **campo odontoiatrico**: rivestendo la superficie degli impianti di titanio con rivestimenti di nanofibre di cheratina, viene favorita la proliferazione dei fibroblasti, la sua integrazione con i tessuti molli gengivali e si riduce la penetrazione batterica. L'utilizzo delle nanofibre di cheratina nel settore biomedicale è, quindi, in larga espansione e, grazie alla grandi potenzialità che la proteina racchiude, sicuramente si svilupperà ancora di più nel prossimo futuro.



5. Depurazione delle acque

L'acqua è un elemento essenziale allo sviluppo e al progresso della vita. Originariamente i processi ai quali è sottoposta l'acqua in natura, ossia l'evaporazione e la condensazione, bastavano per rendere l'acqua potabile, ma ai giorni nostri questo non è più possibile.

L'inquinamento cui è sottoposta l'acqua nei mari, nel sottosuolo, nei fiumi, ha diverse origini: industriali, urbane, legate all'uso di fertilizzanti in agricoltura, per sversamento di idrocarburi, o di altra natura (Figura 3.8). In ogni caso, una volta inquinata, l'acqua nel proprio ciclo investe diversi ecosistemi producendo danni alla flora, alla fauna e all'uomo. Per questo



Figura 3.8 - Inquinamento delle acque a causa di scarichi urbani e sversamenti di petrolio.

motivo è fondamentale che, oltre a produrre inevitabilmente fattori inquinanti attraverso le proprie attività, l'uomo si adoperi per depurare l'acqua dei fiumi e del mare. La depurazione è un processo tecnologico che, servendosi di impianti idonei, è finalizzato ad eliminare da sistemi liquidi e gassosi sostanze superflue ed inquinanti e che può essere molto diverso in base al tipo di inquinante. Recentemente sono salite alla ribalta tecnologie di biorisanamento, che si basano su ciò che già esiste in natura e si affidano agli organismi viventi come mezzo di depurazione delle acque.

Prodotti non degradabili, di provenienza industriale, possono giungere in mare, e accumularsi negli organismi provocando loro sensibili danni e arrivando a diventare una minaccia per l'uomo; infatti, una volta giunta in mare, una sostanza tossica diventa parte dei cicli vitali degli organismi e, oltre a venire accumulata nei loro organi, passando da un livello trofico all'altro, tende a concentrarsi progressivamente, fino a raggiungere la maggiore concentrazione negli animali predatori che si trovano ai vertici delle catene alimentari. Questo fenomeno è detto bioaccumulo.

Tra gli inquinanti di origine industriale più tossici vanno citati i metalli pesanti, cioè tutti quegli elementi chimici metallici con una densità relativamente alta e tossici anche in basse concentrazioni, quali ad esempio il piombo (Pb), lo zinco (Zn) e il cadmio (Cd). Alcuni, come il rame, sono presenti nel nostro organismo e sono essenziali per un corretto metabolismo, ma in concentrazioni più elevate diventano tossici. I metalli pesanti, legandosi con le strutture cellulari in cui si depositano possono ostacolare lo svolgimento di determinate funzioni vitali; ad esempio, alcuni di essi presentano elevata affinità per i gruppi sulfidrilici (-SH), normalmente presenti negli enzimi che catalizzano

funzioni metaboliche nel corpo umano, formando un complesso metallo-zolfo che ne può determinare l'inibizione.

La Sardegna è la regione italiana che ospita uno tra i siti estrattivi dismessi più grandi d'Europa, quello del Sulcis Iglesiente, un'area che giunge fino al mare nella quale la metallurgia si sviluppò fin dall'epoca dei fenici e in cui piombo e zinco furono estratti fino all'inizio del secolo scorso; in quella zona, a causa di carenze nella messa in sicurezza, i metalli hanno contaminato le acque circostanti.

Gli scarichi delle abitazioni in ambito urbano costituiscono un altro importante contributo all'inquinamento delle acque, in particolare in quei casi in cui le municipalità non introducono opportuni impianti di depurazione prima dello sversamento nei fiumi o nel mare. Metalli, plastiche, carta e sostanze organiche sono inquinanti che possono danneggiare gravemente gli organismi viventi.

L'uso di fertilizzanti in agricoltura è notoriamente un'importante causa di inquinamento per le acque superficiali e le falde. Elevati quantitativi di nitrati si riscontrano, ad esempio, nelle acque di falda della Pianura Padano-veneta, così come risulta eccessivo il carico di azoto del Po, che raccoglie le acque di deflusso provenienti da campi coltivati o da allevamenti intensivi, non ancora in regola, con conseguente eutrofizzazione dell'Adriatico.

Un'altra fonte di inquinamento delle acque marine è lo sversamento di petrolio nei mari. Eventi accidentali (incidenti, incendi a bordo di petroliere) o volontari (acque di lavaggio delle cisterne delle navi petroliere) possono produrre grandi chiazze di idrocarburi che distruggono l'ecosistema ed inquinano le coste. Disastri ambientali che hanno riversato nelle acque una quantità di greggio superiore alle 200.000 tonnellate si sono verificati nel 2010 nel Golfo del Messico, in una piattaforma offshore, e nel 1989 in Alaska, causato da una petroliera.

Gli studi riportano che gli sversamenti operativi, cioè quelli di carattere giornaliero causati dalle attività quotidiane di navigazione, causano il 25% dell'inquinamento marittimo, contro l'8% causato dagli incidenti.

Per risanare le acque inquinate da idrocarburi esistono varie tecniche, come la combustione controllata, o il "biorisanamento", che utilizza microrganismi in grado di degradare questi composti, o la "solidificazione", cioè l'utilizzo di polimeri idrofobici secchi che catturano il petrolio, creando un materiale gommoso capace di galleggiare sulle acque. Tali soluzioni, tuttavia, sono a loro volta dannose per l'ambiente e non risultano efficaci per risolvere rapidamente il problema.

Recentemente è emersa la possibilità di utilizzare un prodotto estremamente naturale e di basso costo, la lana, per depurare le acque sia dai metalli pesanti, sia dagli idrocarburi. La lana grezza è idrorepellente ed è in grado di assorbire sostanze oleose fino a 10 volte il proprio peso e su questa caratteristica si basa il progetto "Biolanclean", che coinvolge le Università di Cagliari e Sassari e l'Ente strumentale per la promozione della ricerca e del trasferimento tecnologico, Sardegna Ricerche; sono state messe a punto delle barriere galleggianti costituite al 100% di lana vergine di pecora per bonificare le aree inquinate nei pressi di porti o industrie. Queste barriere naturali sono interamente naturali e sembrano riuscire a biodegradare fino a due terzi dell'inquinamento in un mese; inoltre sono i primi prodotti al mondo in grado di svolgere il ruolo sia di assorbitori sia di depuratori. Pos-



sono anche essere utilizzate per ripulire i fiumi da versamenti di fertilizzanti, composti azotati e concimi.

Un altro progetto che si occupa di ripulire le acque dalle cosiddette “maree nere”, colpevoli di disastri ambientali in tutto il mondo, è “Woolres” (Wool Recycle Eco System), finanziato dalla regione Piemonte e promosso da Pointex (Polo di innovazione tessile). Oltre alle sue proprietà idrorepellenti e assorbenti, la lana grezza è anche in grado di lasciare il petrolio inalterato in modo da poterlo recuperare e riutilizzare, invece di lasciarlo depositare sui fondali con additivi ed è in grado di svolgere questo compito più volte, arrivando ad essere riutilizzata per 22 cicli.

E' stato creato un impianto dimostrativo, che ha fornito risultati molto interessanti: utilizzando 10 tonnellate di lana grezza, si possono recuperare 463 tonnellate di petrolio, ripulendo un'area equivalente a 40 campi da calcio di 2 millimetri di spessore.

Entrambi i progetti, “Biolanclean” e “Woolres”, sfruttano la capacità della lana di assorbire oli, ma evidenziano un altro vantaggio di questa fibra: la lana dopo essere stata sfruttata pienamente, ormai inadatta a un nuovo utilizzo, può essere impiegata come combustibile negli impianti di termovalorizzazione.



Bibliografia e Sitografia

Titolo: concesso il riutilizzo dall'azienda di commercio al dettaglio "All's wool that ends wool", da <https://goo.gl/Qx6sH9>

Immagine di copertina:

https://lh3.googleusercontent.com/yDZzMDi_ChQKVIRiyQ3u7HuUtBG31C_eVKr9BOBGzPfVAWGAHuGq11Z_MyR-6lzDMi3Q_g=s85

Fertilizzante azotato

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/60/Ciclo_dellAzoto.jpg

Lattasi

Dario Bressanini, *Darwin e l'innaturalità del bere latte*, «Le Scienze Blog», 2012, da <http://bressanini-lescienze.blogautore.espresso.repubblica.it/2012/11/22/darwin-e-linnaturalita-del-bere-latte/>

Intolleranza al lattosio, https://it.wikipedia.org/wiki/Intolleranza_al_lattosio

Persistenza di lattasi, https://it.wikipedia.org/wiki/Persistenza_di_lattasi

Figura 1: https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ALCT_location.png

Capitolo 1: Storia della lana

A cura di Franco d'Agostino, *L'economia dell'antica Mesopotamia (III-1 millennio a.C.). Per un dialogo interdisciplinare*, Nuova Cultura, 2013, da

https://books.google.it/books?id=IRJnAgAAQBAJ&pg=PA97&lpg=PA97&dq=lana+mesopotamia&source=bl&ots=8O18mOuGqI&sig=hhHWcTm4GUY_ro1Ij1W6ZrWf_L8&hl=it&sa=X&ved=0ahUKEwicirHMserSAhWGIpAKHXwfDkQQ6AEIUjAN#v=onepage&q&f=false

Giorgio Bertoni, *Lana*, Treccani Enciclopedia dei Ragazzi, 2006, da

[http://www.treccani.it/enciclopedia/lana_\(Enciclopedia-dei-ragazzi\)/](http://www.treccani.it/enciclopedia/lana_(Enciclopedia-dei-ragazzi)/)

Sergio Cairati, *SARTORIA. La lana: una storia lunga 10.000 anni, affascinante e da scoprire*, «La Voce», da <http://www.lavoce.be/index.php/sartoria/6621-sartoria-la-lana-una-storia-lunga-10-000-anni-affascinante-e-da-scoprire>

Dario Cianci, *Il latte dei ruminanti nella storia*, «Georgofili INFO», 2016, da

<http://www.georgofili.info/detail.aspx?id=2749>

Dipartimenti Arpa di Biella e Vercelli, *Analisi del ciclo produttivo del settore tessile laniero*, da

http://www.isprambiente.gov.it/public_files/cicli_produttivi/Tessile/Tessile_lana.pdf

Livius Drusus, *Ancient Textiles That Will Blow Your Mind*, «Mental Floss», 2015, da

<http://mentalfloss.com/article/71182/10-ancient-textiles-will-blow-your-mind>

Ezio Martuscelli, *L'uso tessile delle fibre di lana: un percorso storico, culturale, artistico e tecnologico: dalla preistoria al tardo Medioevo*, da <http://www.eziomartuscelli.net/files/Libro3a.pdf>

Giovanni Vigo, *Già nell'800 la tecnologia minacciava i salari. La rivoluzione industriale dei primi decenni del 18esimo secolo scatenò la paura che l'innovazione riducesse le possibilità di lavoro. In Inghilterra fu ribellione, in Francia prevalse l'utopia*, «Sette», 2013, da http://www.corriere.it/sette/13_febbraio_18/2013-08-vigo-salari_e999c024-79df-11e2-9a1e-b7381312d669.shtml

Luddismo, https://it.wikipedia.org/wiki/Luddismo#La_rivolta_luddista

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_House_of_Theseus,_detail_of_The_first_bath_of_Achilles_mosaic,_the_Fates_Clotho_holding_a_spindle_and_distaff,_and_Lachenis_holding_a_diptych,_South_Wing,_Paphos_Archaeological_Park,_Cyprus_\(22384092519\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_House_of_Theseus,_detail_of_The_first_bath_of_Achilles_mosaic,_the_Fates_Clotho_holding_a_spindle_and_distaff,_and_Lachenis_holding_a_diptych,_South_Wing,_Paphos_Archaeological_Park,_Cyprus_(22384092519).jpg)

<https://www.unicredit.it/piccolemedieimprese/estero/unicredit-international-moda/settori/industria-laniera.html>

<http://ungaretti.racine.ra.it/SeT/macvapor/telaio.htm>

http://www.wikiwand.com/de/Frau_von_Huldremose

Galleria 1.1:



•"Egtvedpigen i sin kiste" (CC DI-NC-SA 2.0) Di Nationalmuseet (modified), da

<https://www.flickr.com/photos/nationalmuseet/5780410611>

•Nationalmuseet [CC DI-SA 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/Di-sa/3.0>) or CC DI-SA 2.5

(<http://creativecommons.org/licenses/Di-sa/2.5>)], via Wikimedia Commons, da

https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AKvinddragt-fra-Huldremose_DO-2279_original.jpg

• <https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3APazyrykfull.jpg>

Galleria 1.2: Immagini e traduzione del Prisma Babilonese: gentile concessione della Dr.ssa Gabriella Spada (Università della Sapienza di Roma).

Figura 1.1: Di E. S. V. Leigh (Own work) [CC DI-SA 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/Di-sa/3.0>)], via Wikimedia Commons, da

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a1/Amasis_Ptr_cat_48_Lekythos_MMA_31.11.10_weaving.JPG

Figura 1.2: Di Carole Raddato da FRANCOFORTE, Germania [CC DI-SA 2.0

(<http://creativecommons.org/licenses/Di-sa/2.0>)], via Wikimedia Commons, da

https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AThe_House_of_Theseus%2C_detail_of_The_first_bath_of_Achilles_mosaic%2C_da_left_to_right-

[_Thesis%2C_Peleus_and_the_three_Fates_\(Clotho%2C_Lachesis_and_Atropos\)%2C_South_Wing%2C_Paphos_Archaeological_Park%2C_Cyprus_\(22544931416\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AThe_House_of_Theseus%2C_detail_of_The_first_bath_of_Achilles_mosaic%2C_da_left_to_right-_Thesis%2C_Peleus_and_the_three_Fates_(Clotho%2C_Lachesis_and_Atropos)%2C_South_Wing%2C_Paphos_Archaeological_Park%2C_Cyprus_(22544931416).jpg)

Figura 1.3: Marie-Lan Nguyen/ Wikimedia Commons, da

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gynaecium_scene_Louvre_MNC624.jpg

Figura 1.4: © Marie-Lan Nguyen / Wikimedia Commons , da

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Woman_spinning_MAR_Palermo_NI2149.jpg

Figura 1.5: Di Sailko (Own work) [CC DI 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/Di/3.0>)], via Wikimedia Commons, da

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Egitto,_epoca_romana_o_bizantina,_frammento_di_svastica_che_gira_a_destra,_lino_e_lana.JPG (ultima consultazione: 14/05/2017).

Galleria 1.3

•Paola Virgili, Moda e Abbigliamento nell'antica Roma

•Musonio Rufo, I secolo a.C.

Galleria 1.4

•Di WolfgangRieger [Pubblico Dominio], via Wikimedia Commons, da

https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3APompeii__Fullonica_of_Veranius_Hypsaeus_1_-_MAN.jpg

•Di WolfgangRieger [Pubblico Dominio], via Wikimedia Commons, da

https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3APompeii_-_Fullonica_of_Veranius_Hypsaeus_2_-_MAN.jpg

•Di WolfgangRieger [Pubblico Dominio], via Wikimedia Commons, da

https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3APompeii_-_Fullonica_of_Veranius_Hypsaeus_3_-_MAN.jpg

Figura 1.6: I, Sailko [GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>), CC-DI-SA-3.0

(<http://creativecommons.org/licenses/Di-sa/3.0/>) or CC DI 2.5 (<http://creativecommons.org/licenses/Di/2.5>)], via Wikimedia Commons, da

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/28/Formella_12%2C_arte_tessile%2C_andrea_pisano%2C_1334-1336.JPG

Figura 1.7: Miniatura per gentile concessione del museo Aiello, Friuli, Italia. <http://www.museiformentini.it>.

Figura 1.8: Di Internet Archive Book Images [No restrictions], via Wikimedia Commons, da

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AShakespeare's_home_at_New_Place%2C_Stratford-upon-Avon_\(1863\)_\(14598390928\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AShakespeare's_home_at_New_Place%2C_Stratford-upon-Avon_(1863)_(14598390928).jpg)

Figura 1.9: Di Name des Zeichners nicht lesbar. [Pubblico Dominio], via Wikimedia Commons, da

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zeichnung_Spinning_jenny.jpg

Figura 1.10: Morio, 18C (late) Arkwright Water Frame (replica), background removed, color changed , CC DI-SA 3.0, da [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:18C_\(late\)_Arkwright_Water_Frame_\(replica\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:18C_(late)_Arkwright_Water_Frame_(replica).jpg)



Capitolo 2: Caratteristiche

2.1 – La chimica della lana

Quaglierini C., *Chimica delle fibre tessili*, Bologna, Zanichelli, 2012

<http://www.chimicamo.org/chimica-organica/disolfuri.html>

Figura 2.1: da <https://it.fotolia.com/id/42417091>

2.2 – La classificazione delle fibre tessili

Atkins P., *Che cos'è la chimica?*, Bologna, Zanichelli, 2013, traduzione di Luisa Doplicher.

Atkins P., *Le regole del gioco*, Bologna, Zanichelli, 2010, traduzione di Luisa Doplicher.

Le Couteur P., Burreson J., *I bottoni di Napoleone*, Milano, Tea, 2008, traduzione di Libero Sosio.

Polo E., *C'era una volta un polimero*, Bologna, Apogeo, 2013.

Quaglierini C., *La chimica delle fibre tessili*, Bologna, Zanichelli, 2012.

Figura 2.3: <https://pixabay.com/it/filetto-bobina-cucire-overlocker-619948>

2.3 – Le cheratine

<http://www.cosmesinice.it/webApp/portal/sites/default/files/blog/cheratina.pdf>

<http://lacheratina.com/cosa-e-cheratina>

<https://it.wikipedia.org/wiki/Cheratina>

<http://www00.unibg.it/dati/corsi/22037/65698->

[COSTITUZIONE%20CHIMICA%20DELLA%20LANA%2014.pdf](http://www00.unibg.it/dati/corsi/22037/65698-COSTITUZIONE%20CHIMICA%20DELLA%20LANA%2014.pdf)

http://www.distabif.unina2.it/Materiale_Didattico/Chambery/Biochimica%20Farmacia/Lezione%209.pdf

<http://www.iissluigirusso.gov.it/wp->

[content/uploads/2014/Appunti_Alunni/LA/Dispensa%20chimica%20fibre%20tessili%204C.pdf](http://www.iissluigirusso.gov.it/wp-content/uploads/2014/Appunti_Alunni/LA/Dispensa%20chimica%20fibre%20tessili%204C.pdf)

<http://www.federica.unina.it/scienze-biotecnologiche/biochimica-scb/organizzazione-strutturale-proteine/>

Quaglierini C., Chimica delle fibre tessili, Bologna, 2012, Zanichelli editore S.p.A.

Figura 2.5: <https://it.pinterest.com/pin/28429041370619237/>

Figura 2.7:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/12/Alpha_Keratin_Basic_Structure.svg/759px-

[Alpha_Keratin_Basic_Structure.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/12/Alpha_Keratin_Basic_Structure.svg/759px-Alpha_Keratin_Basic_Structure.svg.png)

2.4 – Le proprietà della lana

<http://www.eziomartuscelli.net/files/Libro4b.pdf>

<http://www.latineola.it/caratteristiche.htm>

<http://www.sapere.it/enciclopedia/lana.html>

<https://d1cqrq366w3ike.cloudfront.net/http/DOCUMENT/SheepUSA/CharacteristicsOfWool.pdf>

Carlo Quaglierini, *Chimica delle fibre tessili*, 2012 Zanichelli.

Figura 2.7: Di Cgoodwin (Own work) [GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>) or CC DI-SA 4.0-3.0-

2.5-2.0-1.0 (<http://creativecommons.org/licenses/Di-sa/4.0-3.0-2.5-2.0-1.0>)], via Wikimedia Commons, da

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wool_staples.JPG

2.5 – Struttura morfologica della fibra di lana

<http://www.chimica-online.it/materiali/fibre-tessili/lana.htm>

Figura 2.8: CSIRO [CC DI 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/Di/3.0>)], via Wikimedia Commons, da

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CSIRO_ScienceImage_2490_Schematic_for_Wool_Fibre.jpg

Capitolo 3 – Utilizzi

3.1 - Produzione di lana nell'industria tessile

<https://web.uniroma1.it/dipmanagement/sites/default/files/allegati/4%20produzione%20fibre.ppt>

Francesca Camilli e Tunia Burgassi, *La lana: rifiuto o risorsa?*, «@renews», 2012, da

<https://agrireregionieuropa.univpm.it/it/content/article/31/28/la-lana-rifiuto-o-risorsa>

3.2- Agricoltura

Verní M. A., *I fertilizzanti, il terreno e la pianta (guida pratica alla nutrizione delle colture)*, Bologna, 2005,



Edagricole-New Business Media.

Maria Rosa Pavia, *La lana scartata: da rifiuto speciale a fertilizzante. Contiene cheratina, che trattata con acqua a 180 gradi rilascia azoto. Un processo a zero scarti. Con un laboratorio mobile*, Ambiente, 2014, da http://www.corriere.it/ambiente/14_gennaio_13/lana-scartata-rifiuto-speciale-fertilizzante-85cb428c-7c65-11e3-bc95-3898e25f75f1.shtml

M. Zoccola, *Idrolisi Verde della Cheratina della Lana*, 2016, da <http://www.life-greenwoolf.eu/wp-content/uploads/2016/06/4-Zoccola.pdf>

Fertilizzazione, Wikipedia, L'enciclopedia libera, 2017, da

<https://it.wikipedia.org/wiki/Fertilizzazione#Ammendanti>

<https://goo.gl/zbFO8e>

<https://goo.gl/3sfjff>

3.3 – Edilizia

Valentina Caiazzo, *Lana di pecora come isolante*, 2011, da <http://www.lavorincasa.it/lana-di-pecora-come-isolante/>

Luigi Foschi, *Tieni calda la tua casa con la lana di pecora*, «Vivi Consapevole», 2013, da

<http://www.viviconsapevole.it/articoli/tieni-calda-la-tua-casa-con-la-lana-di-pecora.php>

Lana, Wikipedia,

https://it.wikipedia.org/wiki/Lana#CITEREFMartuscelli.2C_.22Relazioni_Propriet.C3.A0_e_Stuttura_nelle_Fibre_di_lana.22

<http://www.isolantelanadipecora.it/produzione-e-vendita-pannelli-in-lana-di-pecora.html>

Figura 3.2: Di Unifrax (Unifrax) [CC DI 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/Di/3.0/>)], via Wikimedia Commons, da https://commons.wikimedia.org/wiki/File:High_Temperature_Insulation_Wool_blankets.jpg

Figura 3.3:

•Di No machine-readable author provided. Luigi.visona assumed (based on copyright claims). [GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>), CC-DI-SA-3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/Di-sa/3.0/>) or CC DI-SA 2.5-2.0-1.0 (<http://creativecommons.org/licenses/Di-sa/2.5-2.0-1.0/>)], via Wikimedia Commons, da https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lana_scaglie3.jpg

•Di Achim Hering (Own work) [GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>) or CC DI 3.0

(<http://creativecommons.org/licenses/Di/3.0/>)], via Wikimedia Commons, da

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rockwool_close_up_3.jpg

3.4 - Settore biomedico

A. Aluigi, G. Sotgiu, C. Ferroni, S. Duchi, E. Lucarelli, C. Martini, T. Posati, A. Guerrini, M. Ballestri, F. Corticelli, G. Varchi, *Chlorin e6 keratin nanoparticles for photodynamic anticancer therapy*, «RSC Advances», RSC Royal Society of Chemistry, 2016, 6, 33910-33918.

Annalisa Aluigi, Giovanna Sotgiu, Armida Torreggiani, et al, *Methylene blue doped films of wool keratin with antimicrobial photodynamic activity*, ACS Applied Materials Interfaces, 2015, American Chemical Society, da <http://dx.doi.org/10.1021/acsami.5b04699>

C. Ferroni, G. Sotgiu, A. Sagnella, G. Varchi, A. Guerrini, D. Giuri, E. Polo, V.T. Orlandi, E. Marras, M. Gariboldi, E. Monti, A. Aluigi, *Wool keratine 3D scaffolds with light- triggered antimicrobial activity*, «Biomacromolecules», 2016, 17, pp.2882-2890, da <http://dx.doi.org/10.1021/acs.biomac.6b00697>

T. Posati, G. Sotgiu, C. Ferroni, R. Zamboni, F. Corticelli, D. Puglia, L. Torre, A. Terenzi, A. Aluigi, *Developing keratin sponges with tunable morphologies and controlled antioxidant properties induced Di doping with poydopamine (PDA) nanoparticles*, Materials and Design, 2016, 110, 475-484.

G- Sussman, *Advances in wound dressing technology*, Wound International, 2013, Vol 4 issue 4, pp 12-14, da http://www.woundsinternational.com/media/journals/_/718/files/content_11026.pdf

L. Tang, J. Ollague Sierra, R. Kelly, *Wool-derived keratin stimulates human keratinocyte migration and types IV and VII collagen expression*, Experimental Dermatology, 2012, 21, 456-460, da

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0625.2012.01505.x/pdf>

Claudio Tonin, *Ricerca e innovazione per nuovi (ri)utilizzi della lana: il progetto LIFE+GREENWOLF*,



CNR ISMAC, 2015, da <http://docplayer.it/24430252-Ricerca-e-innovazione-per-nuovi-ri-utilizzi-della-lana-il-progetto-life-greenwoolf.html>

Alessio Varesano, *Elettrofilatura e impieghi di materiali elettrofilati*, CNR-ISMAL, Biella, 2017, da <http://www.ismac.cnr.it/wp-content/uploads/2017/03/Varesano.pdf>

Alessio Varesano, *Nanofibre: processi e applicazioni*, CNR-ISMAL, Biella, da http://www.2bfuntex.eu/sites/default/files/materials/Nanofibre_Processi%20ed%20applicazioni%20%5BITA%5D%20Parte%201.pdf

Keratin product, wound care, da <http://www.keraplast.com/wound-care> and <http://www.keraplast.com/evidence-based-wound-care>

Superfici di titanio modificate mediante topografia alla nanoscala e rivestimento nano strutturato a base di cheratina, destinate al colletto di impianti dentali, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Catalogo Brevetti e proprietà intellettuale, Scheda di dettaglio, da

<http://brevetti.cnr.it/brevetti/InfoCatalogo.do?nsrif=10413&dip=0>

3.5 – Depurazione delle acque

Giada Franci e Edoardo Zucco, *Le forme di inquinamento del mare e i danni all'ambiente*, da

http://www.google.it/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjAl_TkgtDTAhUkDJoKHSqADtIQFggiMA-

[A&url=http%3A%2F%2Fwww.portofinoamp.it%2Fit%2Fimages%2Fstories%2Fupload3%2Fdispense%2520definitive%2520vere%2520Gen%2520nuove%2520cap4.pdf](http://www.portofinoamp.it/2Fit%2Fimages%2Fstories%2Fupload3%2Fdispense%2520definitive%2520vere%2520Gen%2520nuove%2520cap4.pdf)&usq=AFQjCNGPILjmuGzDRft_wa7IqcC3018wxg

Alessandro Ligas, *Dalla Sardegna arriva la lana mangia petrolio. Così ripulisce mari e fiumi*, «Sardinia Post», 2016, da <http://www.sardiniapost.it/innovazione/dalla-sardegna-arriva-la-lana-mangia-petrolio-cosi-ripulisce-mari-e-fiumi/>

Depurazione, Wikipedia, L'enciclopedia libera, 2017, da <https://it.wikipedia.org/wiki/Depurazione> (ultima consultazione: 14/05/2017).

«Eliminiamo il petrolio usando lana di pecora». *All'Università di Cagliari studiano come gestire gli sversamenti cronici nei mari, dovuti a navi e infrastrutture aereo*, «Sette Green», 2016, da

<http://settegreenawards.corriere.it/2016/notizie/eliminiamo-petrolio-usando-lana-pecora-b5d7a7b0-a203-11e6-9c60-ebb37c98c030.shtml> (ultima consultazione: 14/05/2017).

Fertilizzanti in agricoltura, l'Italia viola il diritto comunitario in materia di inquinamento delle acque. Nel decreto sviluppo un emendamento azzera la "direttiva nitrati". Legambiente denuncia alla Commissione europea "agire subito per evitare gravi contraccolpi sul sostegno all'agricoltura italiana", «Legambiente», 2013, da <https://www.legambiente.it/contenuti/comunicati/fertilizzanti-agricoltura-litalia-viola-il-diritto-comunitario-materia-di-inq-0>

In anteprima mondiale il progetto Biolanclean, «Cagliari Oggi», 2016, da

<http://notizie.cagliarioggi.it/n?id=104855>

Wores: la lana per la bonifica delle aree inquinate, «Mondo Eco Blog», 2011, da

<http://www.mondoecoblog.com/2011/04/04/wores-la-lana-per-la-bonifica-delle-aree-inquinate-da-petrolio/>

<http://www.pointex.eu/progetto-woolres>

<http://www.woolres.com/index.html>

Figura 3.6: <https://pixabay.com/it/inquinamento-cestino-degradazione-1603644/>

