



REGIONE DEL VENETO

Esame di fine corso

Cod. Progetto 4262/2/668/2015 - Cod. Intervento 4262/003/636/DEC/22

Titolo: Tecnico per la gestione di impianti di produzione della carta

Sede del corso: Verona - VR - 37138 - Via Don Giovanni Minzoni, 50

Uso dei prodotti chimici nella produzione di carta tissue

di Angelucci Nicola



**Scuola Interregionale
di tecnologia per tecnici Cartari**

Istituto Salesiano «San Zeno» - Via Don Minzoni, 50 - 37138 Verona

fcs.istitutosalesianosanzeno.it - scuolacartaria@sanzeno.org

INDICE

- 1. INTRODUZIONE**
- 2. FONDAMENTI CHIMICO-FISICI DEL PROCESSO TISSUE**
- 3. COAGULANTI**
- 4. FLOCCULANTI**
- 5. AMIDI E POLISACCARIDI**
- 6. RESINE WET-STRENGTH**
- 7. BIOCIDI E CONTROLLO MICROBIOLOGICO**
- 8. ANTISCHIUMA E DISAERANTI**
- 9. AGENTI DI COATING SUL CILINDRO YANKEE**
- 10. ALTRI ADDITIVI E TECNOLOGIE AUSILIARIE**
- 11. DIFFERENZE CHIMICHE TRA TIPI DI TISSUE**
- 12. CONCLUSIONI**
- 13. BIBLIOGRAFIA**

1. INTRODUZIONE

La carta tissue rappresenta una categoria di carte leggere e assorbenti destinate principalmente all'igiene e all'uso domestico (carta igienica, asciugatutto, fazzoletti, tovaglioli, ecc.). Pur costituendo una frazione relativamente piccola in termini di tonnellaggio rispetto ad altre carte, i prodotti tissue sono tra i più importanti nel mercato consumer a livello globale. Si stima che nel 2019 il consumo mondiale di tissue abbia raggiunto circa 40,5 milioni di tonnellate, con un valore di mercato di circa 100 miliardi di dollari. Questo settore è in costante crescita ($\approx 3\%$ annuo a livello globale) grazie alla crescente domanda di prodotti “usa e getta” per l'igiene personale e la pulizia.

Dal punto di vista produttivo, la carta tissue si distingue per alcune proprietà chiave:

- bassa grammatura: tipicamente 14–40 g/m², che conferisce leggerezza e delicatezza al tatto;
- elevata morbidezza: caratteristica fondamentale per carte igieniche e fazzoletti, ottenuta grazie a fibre selezionate, raffinazione minima e specifici additivi ammorbidenti;
- alta capacità assorbente: indispensabile per asciugatutto e tovaglioli, ottenuta con strutture fibrose porose e talvolta con trattamenti che migliorano la ritenzione di liquidi;
- rapida disgregabilità in acqua: specialmente per la carta igienica, che deve dissolversi facilmente (criterio importante per le fognature), spesso ottenuta bilanciando la resistenza a secco e l'uso di additivi “temporary wet strength” che degradano dopo l'uso.

Il processo di produzione della carta tissue avviene in cartiera su macchine continue apposite, spesso del tipo Crescent Former (le più diffuse per tissue moderno), composte da una sezione di formazione con doppio feltro (wire e feltro pressante), un cilindro essiccatore monolucido (Yankee dryer) e un sistema di creping. Le fasi principali sono: preparazione dell'impasto fibroso, formazione del foglio su tela metallica (con drenaggio iniziale dell'acqua), essiccamento sul cilindro Yankee (un grande cilindro riscaldato internamente con vapore, su cui il foglio viene pressato e asciugato dal $\sim 45\%$ fino al $\sim 95\%$ di secco) e creping (raschiatura del foglio secco dal cilindro tramite lama doctor, che increspando la carta ne aumenta morbidezza e volume). A valle, il nastro di carta viene avvolto in bobine jumbo e inviato alla converting, dove si effettuano le lavorazioni finali (goffatura, laminazione pluristrato, taglio in rotoli o piegatura).

Un elemento peculiare della produzione tissue è il ruolo cruciale del cilindro Yankee (detto anche monolucido): esso non solo funge da essiccatore principale, ma attraverso il creping conferisce alla carta tissue le sue proprietà distintive di morbidezza e voluminosità. Per far aderire adeguatamente il foglio al cilindro e poi staccarlo in modo controllato, si applica sulla superficie del cilindro Yankee una patina chimica (Yankee coating) composta da adesivi e distaccanti. Questi prodotti chimici, insieme ad altri additivi impiegati nell'impasto, sono essenziali per ottenere le performance desiderate in termini di lavorabilità in macchina e qualità del prodotto finito.

Nel processo di fabbricazione della carta tissue viene dunque impiegata una vasta gamma di prodotti chimici ausiliari, sia nella fase di wet-end (preparazione dell'impasto e formazione foglio) sia nelle fasi di asciugamento e post-formazione.

L'uso mirato di additivi consente di:

- Ottimizzare la produzione – migliorare la ritenzione di fibre e cariche, velocizzare il drenaggio e l'essiccamento, prevenire difetti (rotture, fori) e incollamenti anomali.
- Modificare le proprietà del prodotto – aumentare la resistenza meccanica (a secco e a umido), modulare la morbidezza, il grado di assorbenza, il colore, la resistenza alle muffe, ecc.
- Garantire l'efficienza operativa – controllare la schiuma e l'aria intrappolata, prevenire depositi e biofilm nei circuiti, proteggere le attrezzature (ad es. preservare la superficie del cilindro Yankee), ridurre i fermi macchina.

In questa tesina tecnica verranno esaminati in dettaglio i principali prodotti chimici impiegati nella produzione di carta tissue, suddivisi per funzione: coagulanti e flocculanti per la ritenzione, amidi e resine per le proprietà di resistenza, biocidi per il controllo microbiologico, antischiuma e disaeranti per la gestione di schiuma/aria, agenti di coating per Yankee (adesivi e distaccanti) e altri additivi speciali (ammorbidenti, lozioni, ecc.). Prima di analizzare i singoli additivi, verranno richiamati i concetti chimico-fisici di base – come il potenziale zeta e le interazioni colloidali – che governano il comportamento dell'impasto fibroso e l'azione degli ausiliari chimici. Infine, si discuteranno le differenze nelle ricette chimiche tra varie tipologie di tissue (carta igienica, asciugatutto, veli facciali, tissue industriali) e si sintetizzeranno considerazioni tecniche e operative rilevanti per l'ottimizzazione del processo.

2. FONDAMENTI CHIMICO-FISICI DEL PROCESSO TISSUE

La produzione della carta tissue avviene a partire da una sospensione acquosa di fibre cellulosiche (pulp) a bassa consistenza, in cui sono presenti anche fini (fibrille, fibre corte, particelle colloidali derivanti dal pulp) e, talvolta, cariche minerali o altri additivi. Questa sospensione fibrosa può essere vista come un sistema colloidale complesso, dove le interazioni chimico-fisiche tra le particelle (fibre, fini, colloidali, additivi) e l'acqua influenzano in modo determinante la formazione e le caratteristiche del foglio di carta. Di seguito si richiamano alcuni concetti chiave:

2.1 POTENZIALE ZETA E STABILITÀ COLLOIDALE

Le particelle colloidali presenti nell'impasto (fini cellulosici, granuli di amido non gelatinizzato, pigmenti, ecc.) tendono ad acquisire cariche elettriche superficiali quando disperse in acqua. Ad esempio, la cellulosa in acqua ha superficie anionica debole (dovuta ai gruppi carbossilici delle emicellulose ossidate). Attorno a ogni particella si forma un doppio strato elettrico: uno strato di ioni controcarica adsorbiti e un alone diffuso di ioni in soluzione. Il potenziale zeta (ζ) è il potenziale elettrico misurato al confine di scorrimento tra la particella colloidale e la soluzione circostante: esso quantifica la carica effettiva con cui la particella "si presenta" all'esterno. In pratica, il valore assoluto del potenziale zeta indica la tendenza dei colloidali a respingersi reciprocamente: ζ elevato (oltre ~25–30 mV) implica forte repulsione elettrostatica e quindi dispersione stabile, mentre ζ basso comporta repulsione debole e tendenza all'aggregazione colloidale.

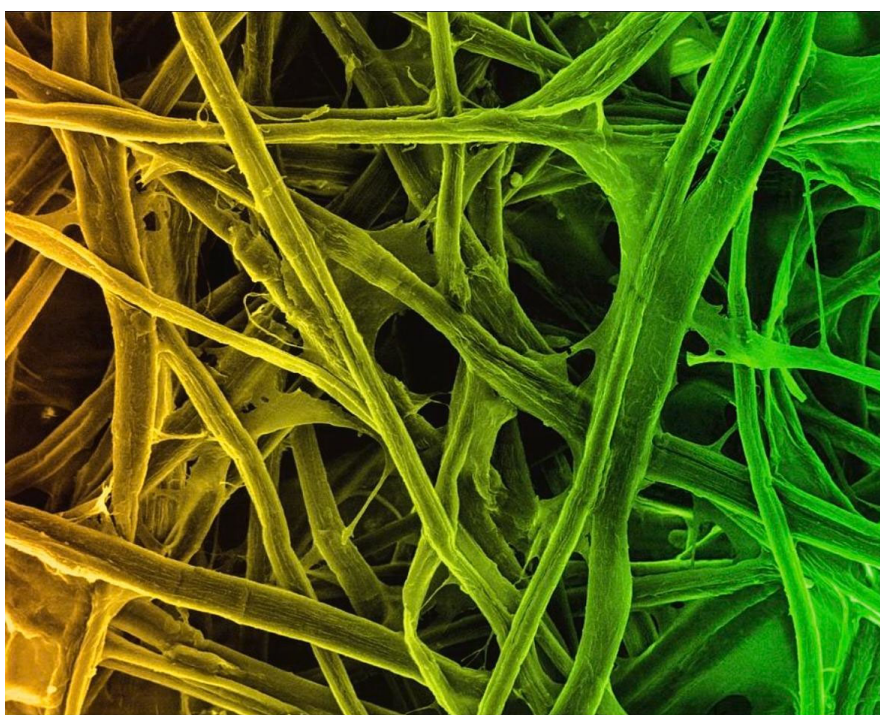
Vari fattori influenzano il potenziale zeta e quindi la stabilità della sospensione

- Concentrazione e valenza degli ioni in soluzione: aggiunte di elettroliti comprimono il doppio strato e possono abbassare drasticamente $|\zeta|$ favorendo l'aggregazione. I controioni polivalenti sono particolarmente efficaci nel neutralizzare le cariche superficiali (ad es. ioni Al^{3+} o Fe^{3+} hanno potere coagulante ~10 volte superiore ai bivalenti come Ca^{2+}).
- pH della sospensione: influisce sulla dissociazione di gruppi ionizzabili e sulla presenza di specie idrolizzate di coagulanti (es: l'allume di alluminio funziona bene in pH acido)

~4,5–5,2 formando polimeri cationici, mentre a pH più alto precipita come $\text{Al}(\text{OH})_3$ neutro) .

- Temperatura e forza ionica: modificano la viscosità e la costante dielettrica del mezzo, alterando lo spessore del doppio strato e l'entità delle interazioni repulsive.

Nella pratica cartaria, il controllo del potenziale zeta (e più in generale della domanda cationica del sistema) è fondamentale: un impasto con colloidali altamente stabilizzati (ζ molto negativo) tratterrà difficilmente cariche e filler sul foglio (bassa ritenzione), mentre un impasto troppo destabilizzato (ζ troppo basso o positivo) tenderà ad aggregare indiscriminatamente, formando flocculi grossolani e instabili. Gli additivi coagulanti sono proprio sostanze (sali o polimeri cationici) aggiunte per ridurre in modo controllato il potenziale zeta e neutralizzare le sostanze anioniche (“anionic trash”), favorendo l'aggregazione fine. Viceversa, la gestione ottimale della carica colloidale serve anche a prevenire fenomeni di colloidalità secondaria come depositi resinosi o pitch: mantenere ζ leggermente negativo e sotto controllo aiuta a che le particelle colloidali indesiderate rimangano discrete fino ad essere rimosse (in macchina o negli impianti di pulizia).



2.2 COAGULAZIONE VS FLOCCULAZIONE E MECCANISMI DI RITENZIONE

In ambito cartario è importante distinguere tra coagulazione e flocculazione:

- La coagulazione indica l'aggregazione delle particelle colloidali ottenuta principalmente tramite neutralizzazione delle cariche elettriche (riduzione delle forze repulsive). In pratica, si induce coagulazione aggiungendo agenti a forte carica opposta (tipicamente coagulanti cationici) che comprimono il doppio strato e fanno superare la barriera di repulsione, permettendo alle particelle di avvicinarsi fino a collidere e aderire per forze di Van der Waals. I coaguli formati sono in genere piccoli e densi.
- La flocculazione invece è l'agglomerazione delle particelle colloidali mediata da polimeri che fungono da ponte tra particelle. Può avvenire per interazione elettrostatica (polimero di carica opposta che lega particelle) o per formazione di ponti di idrogeno tra polimero e particelle. I flocculanti sono di solito polielettroliti di elevato peso molecolare, che adsorbono parzialmente su una particella e con le porzioni libere catturano un'altra particella, formando un "ponte". La flocculazione produce fiocchi più grandi, aperti e fragili rispetto ai coaguli.

Nel processo di ritenzione in macchina continua, coagulanti e flocculanti sono utilizzati in sequenza per migliorare l'acquisizione di fibre fini e cariche nel foglio che si forma sul wire, evitando che finiscano nell'acqua bianca. Una strategia tipica è:

1. Coagulazione iniziale delle particelle fini e colloidali mediante un coagulante cationico a basso PM (es: poliammine, polidiallyldimetilammonio PDADMAC, policloruro di alluminio PAC). Questo neutralizza gran parte della carica anionica dispersa, creando micro-agglomerati di filler/fini su fibre ("patch" cationici sulle superfici fibrose).
2. Flocculazione successiva tramite aggiunta di un flocculante (in genere poliacrilammide PAM ad alto PM) che può essere cationico, anionico o non ionico a seconda del sistema. Nel caso di sistema convenzionale a singolo polimero, si usa di solito PAM cationica ad alto PM che simultaneamente neutralizza e floccula fibre e cariche. In sistemi a doppio polimero, invece, spesso si impiega prima una PAM cationica a medio PM (per creare microflocchi carichi positivamente) seguita da una PAM anionica ad alto PM che lega le zone cationiche sui microflocchi, formando flocchi più grandi per ponte anionico-cationico (meccanismo di patch flocculation).
3. Opzionalmente, in sistemi avanzati, si introduce una fase di taglio (turbulent mixing) per rompere i fiocchi troppo grandi, seguita da una micro-flocculazione secondaria mediante microparticelle inorganiche (silice colloidale, bentonite). Questo è il sistema microparticellare: la microparticella anionica interagisce con i residui di polimero cationico sui fiocchi rotti, causando una reflocculazione in fiocchi più piccoli e uniformi.

Il risultato è una struttura del foglio più omogenea (miglior formazione), mantenendo alta la ritenzione.

Da un punto di vista chimico, i flocculanti polimerici più usati sono le poliacrilammidi (PAM) grazie alla presenza di gruppi ammidici capaci di formare legami a idrogeno con le fibre. Sono disponibili come copolimeri con cariche variabili:

- PAM cationiche: ottenute copolimerizzando acrilammide con monomeri cationici (es. cloruro di diallildimetilammonio DADMAC o acrilato di trimetilamminoetile). Sono adatte per flocculare sistemi a pH neutro-alcalino con alta domanda anionica.
- PAM anioniche: copolimeri di acrilammide con monomeri anionici (es. acrilato di sodio). Utili in combinazione con coagulant cationici o in impasti molto cationizzati.
- PAM non ioniche: poliacrilammide pura, talvolta impiegata in sistemi con forte presenza salina dove le cariche sarebbero schermate.

Il peso molecolare incide sul meccanismo: PAM a PM molto elevato (>5–10 milioni) favoriscono flocculazione per bridging (ponti lunghi), mentre PAM a PM medio-basso agiscono più da coagulant (patch sulla singola fibra). La densità di carica determina l'affinità per particelle di carica opposta e la conformazione del polimero in soluzione (polimeri altamente carichi tendono ad assumere conformazioni più estese in acqua).



2.3 PARAMETRI CHIMICO-FISICI DELL'ACQUA DI PROCESSO

L'acqua impiegata in cartiera (sia come acqua di impasto sia nei circuiti di servizio) gioca un ruolo fondamentale nella chimica del processo. La qualità dell'acqua di processo influenza la performance degli additivi e la stabilità del sistema colloidale.

Alcuni parametri chiave sono:

- pH: La maggior parte delle produzioni tissue moderne avviene in condizioni neutre o leggermente alcaline (pH 6,5–8). Un pH controllato garantisce efficacia ottimale degli additivi: ad esempio, coagulanti come allume o PAC operano meglio in leggero acido, mentre le resine wet strength (PAE) richiedono $\text{pH} \geq 7-8$ per reticolare adeguatamente. In condizioni alcaline elevate gli amidi cationici possono retrogradare o precipitare, mentre in acido possono idrolizzarsi certi biocidi. Dunque il pH del circuito va mantenuto stabile e compatibile con il sistema chimico scelto.
- Durezza e salinità: La presenza di ioni calcio/magnesio (durezza) e di sali in genere aumenta la forza ionica e può ridurre la solubilità di alcuni additivi o consumare reagenti. Durezze elevate (>10 °f) favoriscono depositi di carbonato di calcio e richiedono più coagulante (allume) per neutralizzare l'acqua. Inoltre Ca^{2+} in eccesso può reagire con saponi o con polifosfati, inficiando il controllo depositi. Spesso l'acqua d'ingresso viene trattata (addolcita o decarbonata) per rientrare in specifiche adatte (es. durezza <10 °f, alcalinità $\sim 50-100$ mg/L, $\text{Cl}^- < 50$ mg/L, assenza di Fe e Mn).
- Contenuto organico (COD/BOD): Nelle acque di circuito chiuso, l'accumulo di sostanza organica (derivante da fibre, additivi solubili, ecc.) aumenta COD e BOD, favorendo crescita microbica e consumando biocidi. COD elevati indicano anche molto "anionic trash" solubile che richiede dosi maggiori di coagulanti. È essenziale quindi un bilancio dei recuperi e spurghi per tenere sotto controllo questi valori. Impianti di trattamento interni (sedimentazione, flottazione, biofiltrazione) vengono integrati per abbattere COD/BOD e riutilizzare l'acqua chiarificata in testa macchina.
- Torbidità e solidi sospesi: Legati all'efficacia di ritenzione e di filtrazione dell'acqua bianca. Una torbidità elevata in uscita indica perdita di fibre/filler; ciò non solo è inefficiente ma anche problematico per i circuiti (incrostazioni). Sistemi di filtrazione o fluteur DAF possono rimuovere solidi dall'acqua di riuso. Valori tipici per acque di processo ben gestite: torbidità <5 NTU, solidi sospesi pochi mg/L.
- Gas disciolti: L'aria dispersa nell'impasto può provocare problemi di schiuma, alterare la formazione e causare difetti (puntature, buchi). Per questo si controllano i gas con disaeranti e sistemi di degasaggio nei punti critici (cassa d'afflusso, testa di macchina).

In sintesi, la chimica dell'acqua è il “medium” entro cui operano tutti gli additivi: garantire parametri stabili e ottimali dell'acqua consente agli ausiliari di funzionare in modo ripetibile ed efficace. Le moderne cartiere tissue spesso adottano sistemi di monitoraggio in continuo di pH, conducibilità, torbidità e redox, intervenendo con correttivi (dosaggio acidi/base, flocculanti, purga di circuiti) per mantenere il processo chimico-fisico sotto controllo.

3. COAGULANTI: CONTROLLO DELLA CARICA E RITENZIONE COLLOIDALE

I coagulanti sono additivi cationici a basso peso molecolare impiegati principalmente per neutralizzare le sostanze anioniche presenti nell'impasto (anionic trash) e favorire la micro-aggregazione di fini e cariche sul foglio. In pratica, l'aggiunta di un coagulante riduce il potenziale zeta negativo delle particelle, ne annulla o inverte la carica e promuove collisioni efficaci tra colloidali precedentemente stabilizzati elettricamente.

Nella produzione di carta tissue, i coagulanti svolgono un ruolo cruciale soprattutto in sistemi ad alto riciclo d'acqua (dove si accumulano cariche anioniche dalle fibre riciclate, emicellulose, estrattivi, ecc.) e quando si usano elevati dosaggi di additivi anionici (es. alcuni agenti di resistenza o filler con dispersanti). Senza un adeguato coagulante, il rischio è una scarsa ritenzione (fini e filler che passano nella filtrata), formazione scadente e depositi colloidali nei circuiti.

3.1 TIPOLOGIE DI COAGULANTI UTILIZZATI NEL TISSUE:

- Sali inorganici di alluminio: Storicamente l'allume (solfato di alluminio potassico dodecaidrato) è stato il coagulante per eccellenza nelle carte acide. Oggi nel tissue (solitamente neutro) si preferiscono forme come il polisolfato di alluminio o il cloruro basico di alluminio (PAC). I sali di Al^{3+} , oltre a neutralizzare le cariche, formano idrossidi polimerici cationici che micro-flocculano le impurezze. Operano al meglio a pH medio-acido: ad es. l'allume mostra massima efficacia a pH ~4,5–5,2 formando specie policationiche solubili, mentre a pH > 6 precipita come $Al(OH)_3$ neutro perdendo effetto. Pertanto, in condizioni neutre, si usa il PAC parzialmente idrolizzato (che rilascia immediatamente poli-ioni attivi). Dosaggi tipici: 0,5–2 kg/t.
- Poliammine e polietilenimmine (PEI): Sono polimeri cationici idrosolubili a medio PM (tensioattivi policationici). Esempi: polietilenimmine, poliamminoamidi epicloridrine (EPI/DMA), DADMAC polimerizzato. Hanno elevata densità di carica cationica e funzionano su un ampio intervallo di pH e temperatura. Le poliammine sono diffusissime nel tissue come coagulanti primari: dosate subito prima del flocculante, migliorano la ritenzione e riducono i carichi organici in uscita. Sono efficaci già a bassi dosaggi (0,3–1

kg/t) e producono pochi fanghi rispetto ai sali inorganici (non introducono solfati o cloruri aggiuntivi).

- Polidiallyldimetilammonio cloruro (PDADMAC): Polimero cationico quaternario (PM ~100k–500k) completamente solubile. Ha carica molto alta e dimensioni relativamente piccole, quindi agisce come coagulante/fissativo eccellente per colloidali anionici. Viene spesso impiegato in combinazione con sistemi microparticellari o come “fixative” per coloranti e optical brighteners. In tissue, può aiutare a controllare tinture (nel caso di tovaglioli colorati) o fibre micro disperse.
- Allume di resina (acido rosinale modificato): meno comune nel tissue moderno, storicamente veniva usato in combinazione con allume per la collatura acida. Nel tissue igienico odierno, dato che non si richiede resistenza all’acqua elevata come nelle carte grafiche, la collatura con rosina è generalmente assente (il tissue tende ad essere non collato per massimizzare assorbenza). Quindi i composti a base rosina-allume sono poco rilevanti qui.

3.2 Meccanismi ed effetti operativi:

I coagulanti, una volta aggiunti all’impasto (spesso in testa macchina o nel mix chest), neutralizzano rapidamente le particelle anioniche: ad esempio, il PAC rilascia Al^{3+} che si adsorbe su fibre e fini negativi, creando siti cationici. Questo porta:

- Aumento della ritenzione colloidale: le particelle finissime si aggregano alle fibre e restano intrappolate nel foglio anziché uscire nelle acque. Migliora la pulizia dell’acqua bianca e si riduce la torbidità in uscita.
- Riduzione dei depositi appiccicosi (stickies): molte sostanze collanti (es. residui di colle, lattice, pitch) sono stabilizzate da cariche; il coagulante le rende più prone ad aggregare e quindi a essere rimosse con pulitori o a fissarsi nel foglio senza creare depositi sulle tele.
- Influenza sul drenaggio: una leggera coagulazione può aiutare il drenaggio (fiocchi più grandi lasciano passare l’acqua); tuttavia, un eccesso di coagulante può provocare fiocchi troppo massicci che intasano il feltro di formazione. Dunque il dosaggio va ottimizzato per bilanciare ritenzione e formazione.
- Interazione col flocculante: in uno schema “dual retention”, un coagulante come PAC o poliammine funge da “ponte di carica” su cui poi il flocculante (es. PAM anionica) può legarsi efficacemente formando floccchi robusti. Ciò conferisce fiocchi tenaci che resistono meglio alle forze di taglio in testa macchina.

Considerazioni pratiche: I coagulanti vanno aggiunti in punti di buona miscelazione e preferibilmente qualche secondo prima dei flocculanti, per dare tempo alla neutralizzazione

delle cariche. Bisogna inoltre considerare l'impatto sul pH e sulla conducibilità: ad esempio l'alluminio in idrolisi libera H^+ (acidificando leggermente), e l'allume/polisolfato aggiunge solfati che aumentano la conducibilità. Dosi eccessive di alluminio possono anche interagire con le resine di resistenza (formando complessi con PAE, riducendone efficacia) o con gli adesivi di Yankee (producendo resinati di alluminio insolubili che disturbano la patina). Le poliammine e PDADMAC, essendo organici, non apportano sali ma un sovradosaggio può portare a carica inversa (impasto troppo cationico) con conseguenti problemi di flocculazione incontrollata e attrazione di anioni (es. formazione di complessi con poliacrilati, ecc.).

In sintesi, i coagulanti sono strumenti fondamentali per condizionare chimicamente l'impasto prima della formazione: preparano il sistema colloidale a rispondere adeguatamente agli altri ausiliari (flocculanti, adesivi, ecc.) e assicurano che il circuito acque rimanga pulito e gestibile. Nel tissue, l'uso calibrato di coagulanti consente di raggiungere elevate efficienze di ritenzione anche in condizioni di macchine veloci e circuiti chiusi.

4. FLOCCULANTI: SISTEMI DI RITENZIONE E FORMAZIONE DEL FOGLIO

I flocculanti sono additivi polimerici, generalmente di alto peso molecolare, impiegati per aggregare fra loro fibre, fini e particelle di carica opposta attraverso meccanismi di bridging (ponte polimerico). A differenza dei coagulanti, che agiscono principalmente a livello colloidale neutralizzando le cariche, i flocculanti formano fiocchi visibili nell'impasto – aggregati di fibre e filler – al fine di migliorare la ritenzione di questi elementi nel foglio in formazione e controllare il drenaggio dell'acqua sul wire.

Nella produzione di tissue, i flocculanti devono essere dosati con particolare attenzione: l'obiettivo è aumentare la ritenzione senza però rovinare la formazione (distribuzione) del foglio. Fiocchi troppo grandi o tenaci possono infatti causare basi weight non uniformi, punti deboli o difetti estetici (nuvolosità, macchie). Inoltre, nel tissue, un'eccessiva flocculazione può ridurre la morbidezza del prodotto finito, poiché fiocchi di fibre molto compatti diminuiscono il bulk e la capacità di deformarsi del foglio. Pertanto, spesso si utilizzano sistemi di flocculazione controllata e, come accennato, tecnologie come le microparticelle per riflocculare in modo più fine dopo un parziale deflocculamento da taglio.

4.1 PRINCIPALI FLOCCULANTI PER IL TISSUE:

- Poliacrilammidi cationiche (C-PAM): sono forse i flocculanti più usati in assoluto. In tissue tipicamente si impiegano C-PAM ad altissimo PM (fino a 10-15 milioni) e carica cationica medio-bassa (10-30% dei gruppi) quando si lavora in combinazione con coagulanti inorganici. Vengono dosate dopo il coagulante (ad es. PAC) per flocculare i siti neutralizzati. In sistemi a singolo polimero, invece, si usano C-PAM ad alta carica (40-100%) e PM medio (~5-8 milioni) che da sole riescono sia a neutralizzare che a flocculare. La C-PAM si adsorbe sulle fibre (anioniche) e crea ponti tra fibre vicine. Sono efficaci in un ampio range di pH e con acque anche moderatamente dure. Un potenziale effetto collaterale delle C-PAM è una certa riduzione del dry strength se rimangono cationi ammoniacali quaternari non legati che interferiscono con i legami idrogeno interfibra; per questo il dosaggio viene limitato al minimo efficace (tipicamente 0,5–2 kg/t).

- Poliacrilammidi anioniche (A-PAM): utilizzate soprattutto in combinazione con coagulanti policationici o sistemi microparticellari. Ad esempio, in uno schema duale molto diffuso, si impiega PAC o poliammina seguito da A-PAM ad alto PM: l'A-PAM si lega ai siti carichi positivamente creati dal coagulante su fibre/filler, formando flocculi robusti (meccanismo patch-bridge) . Le A-PAM funzionano bene anche in presenza di amido cationico: l'amido funge da coagulante colloidale e l'A-PAM floccula l'insieme. Vanno però evitate in acque con elevato cationic demand non soddisfatto (perché si consumerebbero nel neutralizzare carica invece che nel flocculare).
- Poliacrilammidi non ioniche (N-PAM): meno utilizzate da sole, a volte compongono formulazioni miste. Possono essere utili in sistemi già bilanciati in carica dove serve solo bridging fisico. Hanno il vantaggio di non interagire con cariche, ma lavorano solo via legami H e interazione polare debole, quindi sono le meno efficaci a parità di PM.
- Altri polimeri naturali o modificati: in alcuni casi si usano anche chitosano (polimero cationico naturale da chitina) o garantite (polisaccaridi cationici) come flocculanti blandi e biodegradabili, specie in impieghi dove si vuole dichiarare un prodotto eco-friendly. Anche alcuni polimeri a blocchi sintetici con sezioni cationiche e anioniche (che agiscono in modalità duale intrinseca) sono offerti dai fornitori per ottimizzare ritenzione e formazione.

4.2 CONDIZIONI DI IMPIEGO:

I flocculanti sono in genere forniti in polvere o emulsione concentrata e devono essere preparati (dissoluzione e maturazione) a concentrazioni basse (~0,1%) perché le soluzioni sono molto viscosi. Vanno dosati in punti con turbolenza controllata: troppo bassa non li distribuisce bene, troppo alta li rompe (shear degradation). Spesso il dosaggio avviene in tubazioni di testa, con un flussimetro tipo Britt Jar da laboratorio che simula le condizioni per scegliere il punto ottimale.

4.3 EFFETTI SUL PROCESSO:

- Ritenzione di filler e fini: il contributo principale è incrementare la ritenzione, spesso portandola da valori del 40-50% (senza sistemi) a >80% con sistemi flocculanti avanzati. Ciò riduce carichi in coda al processo e migliora la resa fibra. Nel tissue, mantenere le fibre fini nel foglio può aumentare la morbidezza superficiale (più estremità libere di fibre corte).
- Drenaggio e velocità di macchina: una flocculazione moderata aiuta il drenaggio iniziale (flocchi che lasciano interstizi per passaggio acqua), ma flocchi troppo grandi possono

bloccare i pori del wire e ridurre la filtrazione. L'operatore spesso regola la dose flocculante per trovare il miglior compromesso "ritenzione vs. formazione vs. drenaggio".

- Formazione del foglio: eccesso di flocculazione = scarsa formazione (aree di diversa grammatura). Per valutarla si usano apparecchiature di imaging o il coefficiente di formazione in laboratorio. In tissue, date le basse grammature, la formazione è critica per l'uniformità di resistenza e di assorbenza. Per questo i flocculanti sono dosati al minimo efficace e si preferisce rompere i flocculi grossi (con casse di afflusso ad alta turbolenza, frazionatori) e riflocculare in fine con microparticelle, ottenendo micro-flocculi uniformi. La tecnologia microparticellare consente di mantenere buona formazione senza perdere troppa ritenzione: i fiocchi vengono ridotti di dimensione dopo il passaggio di una zona di shear e poi riformati più piccoli (grazie alla microparticella che aggrega il polimero residuo).
- Interazioni con altri additivi: se è presente amido (cationico) nell'impasto come rinforzante, esso stesso agisce da micro-flocculante bridging (amido e fibre). Flocculante e amido possono sinergizzare se ben bilanciati (l'amido funge da "precollante" e la PAM consolida i fiocchi). Anche resine PAE (vedi sezione successiva) possono interagire: le resine wet strength sono cationiche e possono flocculare similmente a un coagulante se non sono ben distribuite; perciò a volte si aggiungono in punti di alta diluizione per minimizzare il loro impatto sulla flocculazione locale.

In sintesi, i flocculanti nel tissue sono usati in modo "delicato": l'obiettivo è massimizzare ritenzione e drenaggio mantenendo il foglio ben formato. Molta della tecnologia moderna (dual polymer, microparticelle) è dedicata proprio a ottenere fiocchi più piccoli e controllati. Un adeguato programma di flocculazione consente di spingere le velocità macchina e ridurre i consumi energetici di essiccazione (più filler/fibre nel foglio = meno carico termico nell'acqua estratta). Nel contempo, bisogna sempre ricordare che il tissue destinato a usi igienici premia la qualità percepita (morbidezza, aspetto): dunque la flocculazione deve essere "invisibile" nel prodotto finito, operando dietro le quinte per aiutare il processo senza compromettere la performance d'uso.

5. AMIDI E POLISACCARIDI: ADDITIVI DI RESISTENZA A SECCO E CONTROLLO DELLE PROPRIETÀ

Gli amidi rappresentano i principali additivi polisaccaridici utilizzati nel wet-end delle cartiere, impiegati prevalentemente come agenti di rinforzo a secco (dry strength additives). Nella carta tissue, l'uso di amido è diffuso ma con equilibri particolari: da un lato l'amido migliora la resistenza meccanica del foglio (tensile, resistenza alla lacerazione) che è importante soprattutto negli asciugatutto e tovaglioli; dall'altro, un eccesso di amido può irrigidire la carta e ridurne la morbidezza. Inoltre, l'amido è una sostanza potenzialmente nutriente per i microorganismi, il che richiede attenzione al controllo microbiologico.

5.1 TIPOLOGIE DI AMIDI IMPIEGATI:

- Amido cationico: è il tipo di gran lunga più utilizzato in cartiera. Si tratta di amido (di mais, patata, tapioca, ecc.) chimicamente modificato introducendo gruppi cationici quaternari (di solito con reazione di quaternizzazione con epiclorigidrina e ammine). L'amido cationico ha affinità per le fibre cellulosiche (anioniche) e si adsorbe su di esse. Durante l'essiccamento, forma legami idrogeno aggiuntivi tra fibre, incrementando la resistenza interna del foglio. Viene fornito come polvere o liquido concentrato, e solitamente cotto in cartiera (gelatinizzato in acqua calda) per ottenere soluzione di amido disperso pronta per l'uso. Nel tissue, l'amido cationico può essere aggiunto all'impasto in percentuali tipiche dello 0,5–1,5% sul “secco fibra”. I benefici includono: aumento del carico di rottura a secco e della resistenza allo spappolamento, minor polverosità. Tuttavia può ridurre il bulk e la morbidezza se dosi alte; perciò in carte igieniche di alta gamma (dove la morbidezza è prioritaria) lo si usa con parsimonia o si preferiscono alternative.
- Amido ossidato o anionico: meno comune nel wet-end, a volte impiegato in patinatura superficiale. L'amido ossidato (contenente gruppi carbossilici) ha carica anionica debole e può funzionare come flocculante bridging in presenza di coagulanti cationici. In tissue talvolta si impiega come componente di spray superficiali per conferire un tatto più setoso al prodotto (un leggero appretto superficiale).
- Amidi a rapida dissoluzione (cold soluble starch): prodotti pre-gelatinizzati o modificati per dissolversi in acqua fredda. Possono essere dosati senza cottura, ad esempio in sistemi

di spray size press su tissue (alcune tecnologie prevedono applicazione di amido sulla carta già formata tramite spray per migliorarne resistenza e stampabilità).

- Derivati di cellulosa o gomme: pur non essendo amidi, in questa categoria di polisaccaridi vanno menzionati la CMC (carbossimetilcellulosa) e alcune gomme naturali (es. gomma di guar). La CMC è anionica, altamente solubile, e può migliorare il dry strength simile all'amido ma essendo anionica richiede un coagulante per fissarla. La gomma guar (derivato naturale) invece è usata curiosamente come temporizzatore di resistenza a umido: in certe carte igieniche, si aggiunge guar modificata per dare una resistenza a umido moderata ma che si perde dopo pochi minuti nell'acqua, facilitando la dissoluzione nel WC (guar è biodegradabile). Questi additivi sono più di nicchia, ma evidenziano come polisaccaridi diversi possano modulare proprietà in modo specifico.

L'amido nativo è un polisaccaride formato da amilosio (lineare) e amilopectina (ramificata); quando cotto in acqua (oltre la temperatura di gelatinizzazione ~60-80 °C a seconda del tipo) forma una soluzione colloidale di molecole di amido idratate. L'amido cationico cotto, aggiunto all'impasto fibroso, viene attratto dalle fibre (elettrostaticamente) e dalle superfici anioniche. Una parte si adsorbe sulle fibre, mentre una parte resta in soluzione tra fibre. Durante l'essiccamento sul cilindro Yankee, l'acqua viene rimossa e le molecole di amido si consolidano insieme alle fibre, creando ponti colloidal e legami H che incrementano l'area di contatto tra fibre e la forza dei legami interfibra. In pratica l'amido funge da collante interno ecocompatibile.

Nel tissue, oltre al contributo alla resistenza meccanica (che è importante per evitare rotture in macchina e dare robustezza minima al prodotto finito), l'amido può influire su:

- Assorbenza: un foglio rinforzato con amido trattiene più acqua? L'amido è idrofilo, quindi in teoria aumenta la capacità di trattenere acqua, ma riducendo il volume interfibre potrebbe rallentare la velocità di assorbimento. Bisogna bilanciare: troppa colla riduce la porosità.
- Rigidità vs. morbidezza: l'amido irrigidisce la struttura legando le fibre; ciò è ottimo per gli asciugatutto (che devono restare integri bagnati e poter "strofinare" senza rompersi) ma deleterio per la carta igienica (che deve essere morbida al tatto e cedevole). Infatti, nelle carte igieniche di fascia alta spesso non si aggiunge amido o se ne aggiunge pochissimo, mentre nei rotoloni asciugatutto da cucina se ne usa di più.
- Polverosità: un vantaggio dell'amido è ridurre il rilascio di polvere (fibre corte che si staccano) durante la trasformazione e l'uso. Un tissue leggermente apprettato con amido rilascia meno lanuggine quando srotolato o strofinato.

5.3 SFIDE E ATTENZIONI NELL'USO DI AMIDO:

- Controllo microbiologico: l'amido è sostanzialmente cibo per i batteri (è fatto di glucosio). Se rimane a lungo nell'acqua di processo non protetto, viene rapidamente attaccato da batteri e funghi che lo convertono in zuccheri semplici, causandone la perdita di viscosità e la fermentazione acida. Ciò può portare a odori sgradevoli e calo di prestazioni (perdita di resa di ritenzione e di resistenza). Per questo, i sistemi che usano amido devono avere robusti programmi di biocidi e in molti casi si cerca di consumare subito l'amido preparato (evitando tempi di stoccaggio lunghi delle soluzioni cotte). Inoltre si dimensionano correttamente i circuiti di flush: tubazioni e testate con amido devono essere pulite regolarmente onde evitare depositi gelatinizzati che diventano focolai batterici.
- Interferenze con altri additivi: ad esempio l'amido cationico può competere con resine cationiche (PAE) o con retention aids cationici per i siti sulle fibre. Bisogna quindi bilanciare i dosaggi: troppa carica cationica totale può portare a sovraccarica e flocculazione indesiderata. In genere, se c'è PAE (resina wet strength), si riduce il dosaggio di amido cationico e viceversa, usando eventualmente un po' di flocculante anionico per accomodare entrambi.
- Dosaggio e punto di aggiunta: l'amido di solito si dosa in massa (nel mescolatore principale dell'impasto) per garantirne la distribuzione uniforme. C'è chi preferisce dosarlo in due punti: una parte in pulper (così penetra nelle fibre durante la macerazione), e una parte in testa per interagire con i retention aids. Approcci moderni includono anche l'applicazione spray sull'impasto sul feltro prima del Yankee (spray starch) per migliorare la resistenza superficiale o preparare il foglio al creping (alcune tecnologie di spray starch esistono per tissue, ma vanno calibrate bene per non sporcare il feltro e il cilindro).

In conclusione, l'amido cationico è un alleato prezioso nel conferire resistenza ai prodotti tissue laddove richiesto, ma il suo utilizzo richiede un equilibrio sottile per non penalizzare altre caratteristiche. La tendenza attuale, soprattutto per prodotti igienici premium, è minimizzare l'uso di amidi in pasta sostituendoli in parte con resine sintetiche o con stratagemmi di stratificazione delle fibre (ad esempio, uno strato di fibra lunga per la resistenza, e uno strato di fibra corta superficiale per la morbidezza, riducendo il bisogno di amido). Tuttavia, per motivi di costo e sostenibilità, l'amido rimane molto impiegato grazie anche alla sua origine naturale e alla biodegradabilità.

6. RESINE WET-STRENGTH: ADDITIVI PER LA RESISTENZA A UMIDO

Le resine di resistenza a umido (Wet Strength Resins) sono additivi chimici che conferiscono al foglio di carta la capacità di mantenere una parte della resistenza meccanica anche da bagnato. Nelle carte tissue, l'impiego di resine wet-strength varia a seconda del prodotto finale:

- La carta igienica per uso domestico generalmente richiede bassa resistenza a umido (deve disgregarsi nel water), quindi si usano poco o nulla resine permanenti; talvolta si impiegano resine a resistenza temporanea o additivi naturali che decadono dopo breve tempo.
- Gli asciugatutto da cucina e i prodotti tissue industriali (panni, salviette resistenti) invece richiedono alta resistenza a umido, poiché devono reggere quando imbevuti d'acqua. Qui l'uso di resine wet-strength è fondamentale per soddisfare le specifiche (ad es. la normativa UE per "asciugatutto" spesso richiede >15% di resistenza a umido relativa rispetto alla secco).
- I fazzoletti e tovaglioli hanno requisiti intermedi: un tovagliolo deve resistere un minimo all'uso umido (cibi, bevande) ma non troppo; i fazzoletti facciali spesso non hanno resina per non irritare la pelle e perché non serve robustezza bagnata.

Nel contesto produttivo, l'aggiunta di resine wet-strength pone sfide perché queste tendono a reticolare e legarsi irreversibilmente alle fibre, rendendo anche meno riciclabile la carta (le fibre diventano "idrofobe" in parte). Tuttavia, l'uso appropriato consente di ottenere notevoli benefici prestazionali.

6.1 PRINCIPALI TIPOLOGIE DI RESINE WET-STRENGTH:

- Resine PAE (PolyAmidoAmine-Epichlorohydrin): sono le più diffuse nelle carte tissue e in generale nelle carte con contatto alimentare (poiché prive di formaldeide). Si tratta di polimeri ottenuti da poliamminoammine e epicloridrina, con gruppi azetidinio reattivi. Le PAE sono cationiche in acqua e si adsorbono sulle fibre; durante l'essiccamento e successivamente, formano legami reticolati sia auto-polimerizzando che legandosi alla cellulosa (tramite reazione con gruppi anionici della fibra). Questo crea una rete tridimensionale resistente all'acqua. Le PAE impartiscono resistenza permanente a umido, mantenendo nel prodotto

fino al 15-25% della resistenza secco. Sono fornite come soluzioni a ~12-20% e dosate tipicamente all'0,5–2,5% sul secco fibre. Nel tissue da cucina, dosi ~1% di PAE possono dare ottimi risultati di wet strength. Un aspetto importante: le PAE richiedono pH neutro-alcalino per reticolare efficacemente e temperature di curing moderate (nell'essiccamento sul Yankee spesso bastano 60-70°C di foglio per attivarle, e poi completano la reticolazione in poche ore/giorni). Residui di PAE non reticolati possono continuare a reagire post-produzione (il che significa che la resistenza a umido può aumentare leggermente nei giorni successivi la produzione).

- Resine glicoaliche (GPAM) – Temporary wet strength: sono polimeri (in genere poliacrilammidi) modificati con gruppi reattivi come il glicidile (aldeidi) che formano legami di reticolazione temporanei. Un esempio classico è la resina glicoalica (glicole poliacrilammide). Queste resine danno un miglioramento a umido che però decade col tempo o con un ambiente acquoso prolungato. Vengono usate in carta igienica di qualità per dare sufficiente robustezza durante l'uso (ad es. quando la carta è umida di acqua, per evitarne lo spappolamento immediato) ma permettendone la disintegrazione nel WC dopo alcuni minuti. Molti le chiamano resine a umido temporaneo: dopo, ad esempio, 10 minuti in acqua, la resistenza cala drasticamente. Dosaggi simili alle PAE, 0,5–1%.
- Resine UF/MF (urea-formaldeide, melammina-formaldeide): in passato erano molto usate per wet-strength (es. nelle carte da sacco). Hanno alta efficacia ma rilasciano formaldeide e oggi sono sconsigliate per prodotti igienici e alimentari. Possono comparire in alcuni prodotti industriali (panni tecnici) ma nel tissue consumer sono praticamente eliminate.
- Lattice e leganti synthetic: alcuni panni e wiper industriali di alta durabilità impiegano lattice acrilici o stirolo-butadiene impregnati nel foglio (tecnologia “hydroentangled” o tessuto non tessuto). Nel contesto della carta tissue convenzionale, tuttavia, questi non si applicano.

6.2 MECCANISMO E IMPATTO DELLE RESINE PAE NEL PROCESSO:

Le resine PAE essendo cationiche si comportano un po' come un coagulante/flocculante: tendono a flocculare leggermente l'impasto se aggiunte in concentrazione elevata, e migliorano la ritenzione di fibre e cariche perché si legano ad esse e le ancorano al foglio (la PAE non va persa, perché polimerizza sul foglio). Dunque, quando si introduce PAE:

- Bisogna spesso ridurre l'entità del programma di ritenzione tradizionale (coagulante/flocculante) per non flocculare eccessivamente. A volte la PAE “si conta” come parte del sistema di ritenzione.

- La PAE può interagire con l'adesivo Yankee: eccedenze di PAE nel sistema possono depositarsi sul cilindro Yankee e reticolare lì, causando problemi di sticking. È importante quindi controllare bene il punto di aggiunta (di solito prima del fan pump, ben miscelata all'impasto così che a contatto con il cilindro Yankee sia già maggiormente presa nelle fibre).
- La PAE riduce leggermente la idrofilia del foglio: essendo una rete termoindurente idrorepellente, un'elevata dose può ridurre la capacità assorbente della carta (non drammaticamente, ma è un effetto noto: ad alti contenuti di PAE, la carta tissue diventa meno assorbente e un po' più "cartonosa"). Per questo nei prodotti assorbenti si dosa il minimo necessario a raggiungere la resistenza voluta.
- La PAE rimane nelle fibre anche nei ricicli: ciò comporta che fibre recuperate da tissue wet-strengthened abbiano minore capacità di legarsi (fibra "resa idrofoba"). Una elevata percentuale di fibre riciclate provenienti da tissue trattati può complicare la produzione di nuova carta. A livello ambientale però le PAE moderne sono considerate wet-strength "permanenti" ma non eterne: col tempo e con attacco chimico si degradano. Inoltre le normative consentono l'uso di PAE in prodotti in contatto con alimenti (alcune carte cucina lo sono) perché rilasciano livelli trascurabili di composti (se ben curata, la reazione epichloridrina è completata e i residui sono minimi).

6.3 APPLICAZIONE PRATICA:

Le resine PAE e simili vengono in genere aggiunte alla pasta diluita prima della cassa di afflusso, spesso in testata macchina. Alcuni impianti preferiscono addirittura aggiungerle in miscelazione stock-preparazione per favorirne l'adsorbimento completo. È cruciale mantenere pH ~7-8 e non aggiungere successivamente sostanze che possano competere per i siti (es. dopo la PAE non si dovrebbe aggiungere un polimero anionico forte se non in minima quantità, perché potrebbe interagire con la PAE stessa). Il tempo di miscela prima del wire dovrebbe essere sufficiente a far interagire la resina con le fibre. Spesso la curva di sviluppo della resistenza a umido mostra che il 70-80% del potenziale di resistenza è raggiunto subito all'uscita dal cilindro Yankee, ma un ulteriore 20-30% si sviluppa nelle 24-48 ore successive mentre le ultime reazioni di reticolazione avvengono (quindi il prodotto finito potrebbe "indurire" leggermente nei primi giorni di vita).

Per prodotti in cui serve solo una resistenza temporanea (toilette rapid disintegrating), le resine GPAM (glicoaliche) vengono preferite. Queste reagiscono meno fortemente: l'effetto wet strength iniziale c'è (magari 10% di resistenza a umido) ma col tempo in ammollo le leggi

deboli di glicoli si idrolizzano e la resistenza crolla. L'impiego di queste resine è un compromesso tra usabilità e flushability.

In conclusione, le resine wet-strength sono ingredienti chiave per modulare la robustezza dei prodotti tissue. L'ottimizzazione consiste nell'usarne quanto basta: nel tissue igienico solo quel poco per evitare rotture in macchina (o niente, se si vuole massima disgregabilità), nell'asciugatutto quantità maggiori per raggiungere gli standard di mercato. Bisogna considerare anche i costi (le resine sono costose rispetto ad altri additivi) e gli aspetti ambientali. Le tecniche di stratificazione sono spesso impiegate: ad esempio, carta cucina a due veli può avere la resina aggiunta solo al velo interno per preservare assorbenza superficiale e tatto, oppure carta igienica a 3 veli con resina solo al velo centrale per tenerli insieme ma lasciando i veli esterni soffici e facilmente degradabili.

7. BIOCIDI E CONTROLLO MICROBIOLOGICO

Nel circuito produttivo della carta tissue, ricco di acqua tiepida e sostanze organiche (fibre, amidi, lattici, ecc.), la crescita microbica è un problema costante. Batteri e funghi possono proliferare nelle vasche, tubazioni e feltri, formando biofilm e limo che portano a difetti sul prodotto (punti deboli, macchie, odori sgradevoli) e problemi impiantistici (intasamenti, corrosioni da H₂S prodotto da batteri anaerobi). Per questo è essenziale un programma di controllo microbiologico a base di biocidi.

I biocidi sono sostanze chimiche che uccidono o inibiscono i microorganismi. Nel processo tissue se ne usano di due categorie:

1. Biocidi non ossidanti – composti organici specifici che agiscono su enzimi, proteine o membrane dei microbi.
2. Biocidi ossidanti – agenti chimici fortemente ossidanti che distruggono materia organica indiscriminatamente (es. cloro, biossido di cloro, perossido, ecc.).

7.1 BIOCIDI NON OSSIDANTI

Sono tipicamente molecole organiche sintetiche a spettro di azione selettivo. In cartiera tissue i principali includono:

- Isotiazolinoni (CMIT/MIT, BIT): ad esempio la miscela CIT/MIT (cloro-2-metil-4-isotiazolin-3-one e 2-metil-4-isotiazolin-3-one) è molto usata. Interferisce col metabolismo microbico (sintesi proteica e DNA). È efficace a basse concentrazioni ma può dare sensibilizzazione, quindi dosaggi controllati.
- Derivati bromonitrilici (es. DBNPA – 2,2-dibromo-3-nitrilopropionammide): biocida a rapida azione, agisce modificando enzimi cellulari. È non ossidante ma rilascia lentamente bromuri che hanno qualche effetto ossidante secondario. Utile per shock kill.
- Glutaraldeide: aldeide bifunzionale, denatura proteine microbiche legandosi ai gruppi amminici. Molto efficace specialmente su batteri Gram-negativi. Può essere usata in combinazione con isotiazolinoni.
- Bronopol (2-bromo-2-nitropropano-1,3-diolo): si dissolve rilasciando lentamente formaldeide che agisce da biocida. Efficace ma oggi meno usato perché formaldeide è regolamentata.
- Sali d'ammonio quaternario (benzalconio cloruro, didecil-dimetil ammonio cloruro, etc.): tensioattivi cationici che distruggono le membrane cellulari. Ottimi contro batteri, meno

contro funghi. Possono schiumare e accumularsi nei feltri, quindi vanno dosati con attenzione.

Questi biocidi non ossidanti di solito si dosano in modalità shock: cioè a intervalli, a concentrazioni relativamente alte per breve periodo, piuttosto che in continuo a bassa dose. Questo perché la maggior parte di essi ha concetto di “concentrazione soglia” (deve superare un certo ppm per uccidere) e i microbi possono sviluppare resistenza se esposti a sub-letali costantemente. Tipicamente, la strategia è:

- Dosaggi shock ogni X ore (es. ogni 8 ore, o quotidianamente) di combinazioni di biocidi, alternandoli per prevenire adattamenti.
- Mantenere un residuo basso tra uno shock e l'altro (spesso gli isotiazolinoni qualche ppm in continuo per controllo base, e poi shock con altro biocida).
- Monitorare la carica batterica con conte microbiologiche o metodi indiretti (ATP test) per modulare i dosaggi.

Va notato che i biocidi non ossidanti richiedono tempo di contatto: devono circolare nel sistema abbastanza a lungo da colpire i microbi (idealmente almeno 15-30 minuti sopra la soglia letale). Inoltre la loro efficacia varia: alcuni agiscono meglio su batteri, altri su funghi (ad es. isotiazolinoni ottimi battericidi, i quaternari possono anche fungere da anti-muffa se presenti a lungo).

7.2 BIOCIDI OSSIDANTI

Questi includono:

- Cloro e clorossidanti: ipoclorito di sodio (candeggina), biossido di cloro (ClO_2), dicloroisocianurati, ecc.
- Perossidi: perossido di idrogeno, peracetico.
- Ozono (raramente usato in circuito processo, più per acque di scarico).
- Altri: bromo, ecc.

I biocidi ossidanti hanno la caratteristica di agire molto rapidamente e in modo non selettivo: ossidano componenti cellulari vitali uccidendo i microbi quasi all'istante quando in concentrazione sufficiente. Non hanno una concentrazione minima di efficacia (più ce n'è più uccidono, senza soglia netta) e non creano resistenze facilmente. Spesso si dosano in continuo a basso livello per tenere l'ambiente sempre disinfettato. Ad esempio, l'aggiunta costante di

biossido di cloro in testa macchina a ~0,5-2 ppm residuale può prevenire la crescita di biofilm su tele e feltri.

Pro e contro ossidanti:

- Pro: Azione rapidissima (in pochi minuti), ampio spettro, costi relativamente bassi (candeggina è economica). Non lasciano residui problematici (perossido si decompone in acqua e ossigeno). Buoni contro batteri in sospensione e sulle superfici.
- Contro: Non hanno persistenza – dopo aver reagito si consumano, quindi non proteggono a lungo (un microbo che ricresce dopo un'ora può trovare poco ossidante residuo se non viene ridossato). Possono causare corrosione localizzata nei punti di dosaggio se non ben diluiti. Inoltre, reagiscono anche con altre sostanze del processo: ad es. cloro ossida composti organici generando aloformi (concern di AOX), perossido può reagire con antischiuma o coloranti. Dunque vanno gestiti attentamente per evitare effetti collaterali (ad esempio il cloro libero può attaccare la cellulosa se in concentrazioni alte e tempi lunghi, indebolendo le fibre).

Nella pratica del tissue, i biocidi ossidanti più utilizzati sono:

- Biossido di cloro (ClO_2): molto efficace e meno soggetto a formazione di composti organoclorurati rispetto all'ipoclorito. Si genera in sito (dal clorito sodico) e si dosa in punti strategici. Mantiene residuale controllabile ed è gassoso, raggiungendo bene anche punti remoti.
- Ipoclorito di sodio (NaClO): economico, utile per “shockare” impianti (es. lavaggi) o in acque di macchina aperte. Produce clorammine con l'ammoniaca presente e può generare triometani, quindi è un po' represso l'uso continuativo.
- Perossido di idrogeno (H_2O_2) e acido peracetico: usati spesso insieme (la combinazione è molto potente). Ottimi per abbattere slime e biofilm, anche in fasi di fermo impianto (lavaggi disinfettanti). In marcia, dosi moderate di perossido possono tenere basso il conto microbico senza residui tossici.
- Ozono: raramente immesso in circuito, più frequentemente usato per sanificare feltri offline o ambienti.

7.3 STRATEGIE DI DOSAGGIO:

Si può tenere un residuo ossidante continuo in alcuni punti (es. 0,2-0,5 ppm ClO_2 in vasca testa, oppure un ridotto ORP ~+300 mV in circuito), associato a shock non ossidanti periodici per attaccare eventuali focolai resistenti nel biofilm (poiché paradossalmente i biocidi ossidanti penetrano meno nei biofilm spessi, dove invece un biocida lipofilo non ossidante

può insinuarsi). Spesso si alternano trattamenti: uno shock con glutaraldeide + quat, poi periodo con ClO₂ continuo, poi shock con isothiazolone, ecc.

Sicurezza e regolamenti: Molti di questi biocidi sono regolamentati per garantire che non migrino in quantità pericolose nel prodotto finito (specialmente asciugatutto usati su stoviglie, o tovaglioli in contatto con alimenti). I biocidi ossidanti normalmente non destano problemi di residui (perché decadono in composti innocui). Tra i non ossidanti, c'è attenzione particolare a:

- Rilascio di formaldeide: alcune vecchie formulazioni (es. donatori di formaldeide come diossano o bronopol) sono limitate. Si preferiscono non-formaldeide.
- Residui allergizzanti: isotiazolinoni e quaternari in tracce possono causare dermatiti a soggetti sensibili; tuttavia in carta tissue, dopo l'essiccamento, il residuo è minimo. Le normative comunque impongono livelli residui bassissimi.

Efficacia e gestione del sistema: Oltre al dosaggio chimico, il controllo microbiologico si affida anche a misure meccaniche e gestionali:

- Pulizia e ispezioni: punti morti e vasche vanno periodicamente puliti fisicamente per rimuovere biofilm maturo che i biocidi non possono totalmente eliminare.
- Corretto dimensionamento: evitare ristagni, mantenere flussi turbolenti dove serve (prevenire zone di sedimentazione dove il biocida non raggiunge).
- Trattamento acque di circuito: a volte flocculare/fioreare l'acqua bianca per rimuovere solidi riduce nutrienti per batteri. La logica di 15% design, 60% gestione, 25% chimica nel controllo depositi evidenzia che la chimica (biocidi) da sola non risolve se l'impianto non è ben progettato e gestito.

In conclusione, un buon programma biocida è vitale per mantenere costante la qualità della carta tissue (assenza di odori e difetti biologici) e l'efficienza dell'impianto. Nel contesto attuale si tende a minimizzare l'uso di sostanze pericolose privilegiando combinazioni efficaci a basso impatto (es. ClO₂ + isothiazolone, oppure sistemi enzimatici integrati per degradare slime combinati con biocidi leggeri). Tuttavia, nelle velocissime linee tissue moderne, con circuiti chiusi e temperature di impasto ~30-40°C, i biocidi rimangono un costo necessario e devono essere continuamente ottimizzati in base alle condizioni (stagionalità, fonte di acqua, tipo di fibra: la fibra riciclata porta molti più microbi, ad esempio).

8. ANTISCHIUMA E DISAERANTI: GESTIONE DI SCHIUMA E ARIA NEL SISTEMA

I processi di preparazione e formazione dell'impasto in cartiera coinvolgono agitazione intensa e flussi turbolenti che inevitabilmente incorporano aria nel sistema acquoso. Inoltre, alcune sostanze presenti (emulsionanti, resine, finissime particelle) favoriscono la formazione di schiuma stabile. Nella produzione di tissue, l'eccesso di schiuma o aria intrappolata può causare diversi inconvenienti:

- Problemi di formazione: bolle d'aria nell'impasto generano vuoti o buchi nel foglio, oppure macchie chiare (punti con meno fibre).
- Variabilità di grammatura: cuscinetti di aria possono far oscillare i flussi e causare instabilità di testa.
- Difetti sul prodotto: schiuma che si trascina sul foglio può collassare lasciando piccoli crateri o impronte, visibili come difetti.
- Effetti sul cilindro Yankee: aria nel foglio riduce il contatto termico con il cilindro e può portare a essiccamento non uniforme; inoltre, schiume che giungono al circuito Yankee-coating possono interferire con l'applicazione uniforme della patina adesiva.
- Limitazioni di pompaggio: aria libera nelle pompe causa cavitazione e calo di portata, influenzando anche il vuoto dei foils e suction box sotto il wire.

Per mitigare questi effetti si usano antischiuma e disaeranti, additivi affini ma non identici:

- Gli antischiuma (defoamers) agiscono sulla schiuma superficiale: facilitano la rottura delle bolle già formate e prevengono la formazione di schiuma stabile.
- I disaeranti (deaerators) agiscono più sull'aria dispersa nell'impasto liquido (microbolle): aiutano le bollicine a coalescere e salire in superficie o a liberarsi, riducendo l'aria inglobata.

Spesso le formulazioni industriali combinano entrambi gli effetti, ma la distinzione concettuale è utile: una cosa è far “sparire” la schiuma visibile, un'altra è assicurarsi che l'aria intrappolata nell'impasto (entrained air) sia minima.

8.1 ANTISCHIUMA:

Sono tipicamente emulsioni a base di oli idrofobi e particelle idrofile. Ad esempio:

- Antischiuma a base olio minerale con piccole quantità di silice idrofoba dispersa: l'olio penetra nella lamella della bolla, la silice disturba la coesione, e la bolla scoppia. Sono economici e molto usati.
- Antischiuma siliconici: emulsioni di olio di silicone (polisilossani) con silice. Efficacissimi a bassi dosaggi e molto persistenti (il silicone è molto incompatibile con l'acqua, quindi anche a concentrazioni minime rompe la schiuma).
- Antischiuma vegetali: oli naturali (soia, girasole) con cere oppure alcoli grassi etossilati. Usati quando si vuole compatibilità alimentare alta.
- Antischiuma a base poliglicoli: certi copolimeri EO/PO liquidi possono agire da defoamer in sistemi specifici.

Il meccanismo è in parte empirico – tanto che si scherza dicendo che “funzionano per metà scienza e per metà magia”. In linea generale, l'antischiuma:

- Ha tensione superficiale più bassa di quella dell'acqua schiumata, quindi tende a spandersi sul film sottile della bolla.
- Non si emulsiona stabilmente, quindi crea un punto debole nel film: il suo ingresso provoca il drenaggio del film e la bolla collassa.
- Le particelle solide idrofobe (es. silice trattata) aiutano il processo penetrando nel film e creando un varco.
- Deve essere insolubile nel mezzo, altrimenti non funziona: ecco perché gli antischiuma sono spesso sostanze apolari che restano separate.

Gli antischiuma si dosano dove la schiuma appare (es. pozzetti di aspirazione pompe, chest di preparazione, loop di testa macchina). Un eccesso di antischiuma può sporcare feltri e tele (accumulo di olio) o addirittura ridurre il legame interfibra se troppo residuo nel foglio (punti oleosi che indeboliscono i legami). Nel tissue, inoltre, residui di antischiuma silicone sul Yankee possono provocare distacco irregolare (chatter, problemi di adesione). Quindi la regola è dosare il minimo necessario e usare prodotti ben emulsificati che non lascino residui visibili.

8.2 DISAERANTI:

Spesso sono formulazioni simili agli antischiuma ma con maggiore enfasi sul far coalescere microbolle dentro l'impasto. Alcuni sono polimeri ossigenati che modificano la tensione superficiale e la viscosità locale permettendo alle bolle di unirsi e salire. Altri rilasciano nuclei di cavitazione micro che facilitano l'uscita dell'aria. Un esempio di strumento di laboratorio

per testarli è l'Entrained Gas Tester (EGT) che misura il volume d'aria rilasciata da un impasto con e senza disaerante. Un buon disaerante ridurrà l'aria inglobata velocemente.

Nel tissue, spesso il medesimo prodotto commerciale funge sia da antischiuma che da disaerante, dunque si parla generalmente di “antischiuma” per entrambi. Alcuni produttori distinguono:

- Antifoam AF per defoamer superficiale rapido.
- Defoamer DA per deaerator in massa (p.es. un poliglicole modificato).

8.3 IMPATTO SUL PROCESSO:

Un sistema con schiuma sotto controllo presenta:

- Stabilità di flusso: portate e livelli più costanti, meno variabilità di peso specifico dell'impasto (l'aria riduce la densità apparente).
- Miglior formazione: l'assenza di bolle evita crateri e favorisce una deposizione uniforme delle fibre.
- Meno difetti e rotture: la schiuma non trabocca dalle vasche (evitando difetti da schiuma che cade sul foglio) e l'aria non causa micro-rotture all'uscita dal cilindro Yankee (dove differenze di secco per bolle potrebbero portare a rotture locali).
- Prestazioni chimiche uniformi: alcuni additivi come retention aids possono perdere efficacia se l'aria li strappa via (per esempio flocculi che inglobano bolle poi galleggiano e si perdono). Rimuovendo l'aria, i reagenti rimangono dove devono.

8.4 SCELTA DEL PRODOTTO:

Si basa molto su test pratici. Ogni impasto ha antischiuma più efficaci di altri. Si cerca un prodotto:

- che funzioni bene alle temperature dell'impianto (es. alcuni antischiuma a base olio possono essere troppo viscosi a 25°C e inefficaci; i siliconici di solito reggono bene),
- compatibile col processo (approvato per carta alimentare se serve, non interferente con patina Yankee: a volte si evitano siliconici se creano problemi al coating Yankee e si usano antischiuma non siliconici apposta),
- dal miglior rapporto costo/beneficio (i siliconici sono costosi ma ne serve molto meno dose; i vegetali sono economici ma vanno dosati di più, etc.).

8.5 DOSE E POSIZIONAMENTO:

Una regola è che prevenire è meglio che curare: conviene dosare l'antischiuma prima che la schiuma si formi grossa. Ad esempio, se si sa che una certa pompa introduce aria, dosare

antischiuma nel serbatoio a monte per evitare che la schiuma entri in pompa. Spesso piccoli dosaggi in più punti sono migliori che uno grande in un punto. Alcuni sistemi hanno anelli di spruzzatura antischiuma sulle superfici di vasche per rompere la schiuma che si accumula.

In conclusione, antischiuma e disaeranti, pur essendo ausiliari “invisibili” nel prodotto finale, sono essenziali per mantenere regolare e efficiente la produzione di tissue. Un operatore esperto riconosce subito i segni di schiuma e aria in macchina (rumori di cavitazione, fluttuazioni di consistenza, schiuma sulle tele) e interviene calibrando questi additivi. Le dosi vanno riviste al variare della chimica (ad esempio l'introduzione di un nuovo amido può aumentare la schiumosità, richiedendo più antischiuma). Non a caso si fanno spesso prove in laboratorio con i campioni di acqua e impasto specifici per individuare il miglior prodotto antischiuma per quella linea. Un buon controllo dell'aria e della schiuma è parte integrante del funzionamento “pulito” di una macchina tissue.

9. AGENTI DI COATING SUL CILINDRO YANKEE: ADESIVI E DISTACCANTI

Uno degli aspetti più peculiari (e critici) della produzione di carta tissue è l'applicazione dei chimici di coating sul cilindro Yankee. Lo Yankee dryer è il cilindro monolucido in ghisa o acciaio di grande diametro su cui il foglio viene pressato e asciugato. Per consentire il successivo creping (raschiatura controllata), è necessario ottenere un delicato equilibrio di adesione: il foglio deve aderire abbastanza forte al cilindro da essere teso e asciugarsi, ma al contempo deve potersi staccare (per mezzo della lama crepatrice) al momento giusto senza strappare o danneggiare la superficie del cilindro. Questo equilibrio è raggiunto grazie a una patina di coating formata da appositi agenti chimici: principalmente un adesivante (creping adhesive) e un distaccante (release agent), spesso coadiuvati da altri componenti (modifier, plasticizzanti, etc.).

9.1 OBIETTIVI DEL COATING YANKEE:

- Adesione controllata: l'adesivo aumenta la tackiness del foglio sul cilindro, garantendo trasferimento efficiente dal pressore e mantenimento del contatto durante l'essiccazione.
- Protezione del cilindro: la patina funge da strato "sacrificabile" tra lama e metallo, prevenendo usura e graffi sul cilindro. Un buon coating prolunga la vita dello Yankee.
- Qualità del creping: modulando durezza e spessore della patina si controlla la microstruttura di crepe del foglio, influenzando morbidezza, bulk e resistenza. Un coating troppo duro produce crepe fini (foglio più liscio e resistente ma meno soffice), uno troppo morbido crepe ampie (foglio voluminoso e morbido ma potenzialmente debole e polveroso).
- Pulizia e uniformità: il coating deve evitare accumuli o residui sul cilindro (sticks, edge build-up) che causerebbero difetti e vibrazioni (chatter). Deve inoltre resistere uniformemente attorno al cilindro senza aree di distacco precoce.

9.2 COMPONENTI PRINCIPALI:

- Adesivanti (creping adhesives): polimeri idrosolubili con caratteristiche adesive a temperature elevate. Tradizionalmente, le resine PAE (già discusse) vennero utilizzate come adesivi Yankee: il loro comportamento termindurente e cationico garantiva

adesione. Tuttavia, PAE ha alta reticolazione, rendendo la patina molto dura. Oggi si sono sviluppati adesivi dedicati a base di PVAm (alcool polivinilico modificato), PVA (polivinil-alcol), copolimeri sintetici ad alta elasticità. Molte formulazioni includono PAE “modificate” a basso cross-linking per avere tack elevato ma film più flessibili. L’adesivo in genere è cationico o neutro, per aderire bene alla fibra (che ha residui anionici) e al metallo (spesso l’adesione al metallo è migliorata da carica opposta). Si applica in soluzione acquosa (solitamente 1-2% solido sul peso del foglio essiccato) tramite barre spray sul cilindro dal lato secco.

- Distaccanti (release agents): sono sostanze oleose o surfattanti che riduce la forza di adesione tra foglio e patina/coating, facilitando il rilascio al passaggio della lama. Tipicamente sono derivati di oli lubrificanti, ad es. olio minerale alimentare, oli siliconici o acidi grassi (stearici, oleici) spesso neutralizzati come saponi. I distaccanti sono idrofobi e si integrano nella patina per renderla più morbida e scivolosa. Ad esempio, un comune agente di release è un blend di olio minerale con emulsificanti che depositandosi sul film adesivo ne abbassa la coesione e adesività. Questi agenti devono essere compatibili con l’adesivo (non separarsi troppo) e stabili alle temperature del cilindro (~100-120°C superficiale). La dose di release si calibra per avere la giusta peel.
- Modifiers e altre aggiunte: Le formulazioni commerciali contengono spesso ulteriori ingredienti:
- Plasticizzanti/Humectant: glicoli, poligliceroli, ecc., per mantenere la patina plastica (trattenendo umidità) ed evitare che secchi diventando vetrosa. Una patina leggermente umida è più flessibile.
- Crosslinker controllati: piccole quantità di reticolanti (es. glicoxale) per evitare che il film si sciolga troppo con la condensazione e per ancorare il coating al cilindro.
- Inorganici (fosfati): alcuni coating contengono fosfati o boehmite per proteggere chimicamente la superficie metallica e ancorare meglio il film.
- Surfattanti speciali (modifier): agenti che migliorano la compatibilità tra adesivo (di natura idrofila) e release (idrofobo), rendendo la patina più omogenea e uniforme. Questi modifier sono spesso surfattanti non ionici o a bassa CMC che uniformano la struttura.

9.3 FORMAZIONE DEL COATING IN ESERCIZIO:

All’avvio macchina, le barre spray applicano la miscela adesivo+release. Lo Yankee compie giri e man mano che il foglio passa, una parte di chimici rimane sul cilindro costituendo il film di base. Col successivo creping, frammenti di patina e fibre restano sul cilindro generando un rivestimento composito che include:

- Materiale derivante dal wet-end: fibre fini, filler e additivi che migrano verso lo Yankee con il foglio e vi rimangono attaccati (il fenomeno di migrazione superficiale durante l'essiccamento, chiamato Dreshfield effect, fa sì che particelle piccole e solubili si muovano verso la superficie calda e finiscano nel coating).
- Adesivi e release applicati: che si accumulano e mescolano a questi materiali.
- Frazioni di fibra: nel creping, micro-frammenti fibrosi possono rimanere incorporati nel film.

Il coating in equilibrio è dunque un composito complesso di materiale cellulosico (dominante, perché molta microfibrilla vi finisce), ceneri inorganiche (da filler se presenti, o impurità di riciclo), polimeri adesivi e oli release. Studi hanno mostrato che il contenuto cellulosico è prevalente e l'adesivo chimico è una frazione minore in peso, ma è quello che conferisce coesione al tutto.

Per mantenere una patina funzionale, l'operatore regola:

- Rapporto adesivo/release: troppo adesivo e la carta incollerà eccessivamente (rischio di avvolgimento sul cilindro); troppo release e non si ottiene un creping definito (foglio scivola senza creparsi bene). Tipicamente il rapporto può variare 70/30, 80/20 tra adesivo e release, ma dipende dal prodotto. Ad es. carta molto leggera e morbida può richiedere più release per staccarsi facilmente.
- Quantità totale applicata (Film weight): influisce sullo spessore patina. Spessori alti danno coating morbido ma possono ridurre il trasferimento di calore e creare rugosità sulla superficie; spessori troppo bassi rischiano di non proteggere il cilindro e di portare a un creping aggressivo. Un range indicativo potrebbe essere 0,5-2 g/m² di solido per giro. In sistemi moderni si monitora la patina con sensori IR o termici per stimarne l'uniformità.
- Distribuzione MD/CD: uniformità in direzione macchina e trasversale. Devono essere calibrati gli ugelli spray (pressione, pattern) per coprire uniformemente la larghezza e non sovrapporre ai bordi (che genererebbe depositi bordo). Anche la sincronizzazione con rotazione Yankee va fatta per evitare rigature (a volte gli spray sono modulati nel tempo per non colpire sempre lo stesso punto angolare).

9.4 EFFETTI SUL PRODOTTO FINALE:

Il coating condiziona il creping, che a sua volta definisce:

- Morbidezza – crepe più pronunciate e frequenti aumentano la morbidezza percepita (più “arricciamento” del foglio); ciò si ottiene con patine più morbide (più release, più umidità).

- Spessore (bulk) – un creping intenso (alta percentuale di stretching al distacco) aumenta lo spessore e la porosità, utile per assorbenza e tatto soffice.
- Resistenza – un creping più aggressivo riduce la resistenza meccanica (si indeboliscono le fibre). Quindi se serve più forza, il coating va regolato per un crepe più fine (adesivo più forte, patina dura).
- Consistenza del prodotto – la stabilità del coating assicura uniformità lotto-lotto. Un coating instabile può causare variazioni: es. se la patina si rompe periodicamente e si riforma, il creping ne risente e si possono avere bande di diversa qualità di carta (difetto chiamato rope mark o pattern).

Per il conduttore di macchina tissue, il sistema di coating è quasi un'arte: si controlla temperatura Yankee, umidità del foglio in creping, angolo e pressione lama, e chimica di coating tutti insieme per mantenere il processo ottimizzato. Ad esempio, se il coating inizia a diventare troppo duro (magari per calo umidità ambiente o variazione fibre), si può alzare leggermente il dosaggio di release o aggiungere un plasticizzante per ammorbidirlo (riportare l'asse di coating space verso più softness) . Viceversa, se si notano cedimenti (foglio che salta dal cilindro prima del doctor), occorre aumentare adesivo o ridurre release.

In conclusione, gli agenti di coating Yankee – adesivi e distaccanti – sono un componente essenziale e sofisticato del processo tissue. La loro corretta applicazione permette di bilanciare esigenze contrastanti: massimizzare la morbidezza e volume della carta senza comprometterne la resistenza, mantenere il cilindro protetto ma garantire un creping efficiente. Spesso, le differenze di “ricetta segreta” del coating distinguono produttori e gradi di tissue, essendo frutto di lunga ottimizzazione. Anche in questo campo, le innovazioni (adesivi più eco-friendly, ad esempio adesivi senza organoclorurati residui, o release a base bio) si fanno strada per migliorare sicurezza ed eco-compatibilità senza sacrificare la performance.

10. ALTRI ADDITIVI SPECIFICI E TECNOLOGIE AUSILIARIE

Oltre ai principali gruppi di chimici trattati, esistono altri additivi impiegati nel processo tissue per scopi particolari o di nicchia. Alcuni di questi sono:

- **Ammorbidenti e Lozioni:** Nei tessuti igienici (toilette, fazzoletti) premium, per aumentare la morbidezza percepita al tatto e sulla pelle, si utilizzano agenti ammorbidenti. Questi possono essere:
- **Debonding agents in pasta:** additivi cationici (di solito sali quaternari di ammonio a lunga catena alchilica) aggiunti nell'impasto per ridurre i legami interfibra. Essi intenzionalmente indeboliscono la resistenza a secco rompendo ponti H tra fibre e depositandosi sulle fibre con catene idrofobe sporgenti, conferendo un tatto più soffice e "vellutato". I quaternari tipici (es. diesterquat derivati da acidi grassi) riducono la resistenza secca di un 20-30% ma aumentano significativamente la sensazione di morbidezza. Sono usati soprattutto in carta igienica di fascia alta e fazzoletti cosmetici. Vanno dosati con attenzione (0,1–0,3% sul secco) per non compromettere troppo la resistenza. Inoltre, essendo cationici e idrofobi, possono influire su ritenzione e Yankee coating (possono depositarsi sulla patina Yankee e modificarla). Esempi: DTDMAC (di-ester di sego dimetil ammonio cloruro) ora spesso sostituito da versioni esterquat biodegradabili.
- **Lozioni e balsami superficiali:** applicati post-produzione (sulla bobina o in converting). Sono miscele di emulsioni contenenti oli, aloe, lozioni idratanti, profumi, ecc., depositate sulla superficie della carta (tipicamente sulla carta igienica o fazzoletti) per dare sensazione di morbidezza al tocco e benefici dermici. Questi non fanno parte del processo di formazione in cartiera, ma sono considerati additivi del prodotto finale. Possono includere siliconi (per lubrificare la superficie), glicoli, estratti botanici. L'applicazione avviene con calandre engranate o spray in converting.
- **Softener spray in machine:** alcune macchine hanno sistemi spray che applicano piccoli quantitativi di debonding agent sul foglio prima dell'essiccazione finale, per localizzare l'effetto solo sugli strati superficiali. Ciò permette di preservare la resistenza interna ma ammorbidire la superficie (concetto di softener stratificato). Richiede apparecchiature precise di spray.

L'uso di ammorbidenti e debonders è confermato essere la via principale per migliorare la softness soggettiva dei tissue. Studi indicano che questi additivi, soprattutto i cationici

con lunghe catene lipidiche, riducono il modulo elastico del foglio e ne aumentano la lubrificazione superficiale percepita. Si preferiscono i composti esterquat biodegradabili per ridurre impatto ambientale (es. diester di acido palmitico quaternizzato).

- **Coloranti e Sbiancanti Ottici:** La maggior parte delle carte tissue è di colore bianco crema (fibra naturale sbiancata). Se si desidera un bianco più brillante, si possono aggiungere sbiancanti ottici (OBA) – stilbene derivati che assorbono UV ed emettono azzurro – però raramente ciò avviene perché il contatto con la pelle di OBAs può causare allergie e perché l'effetto in tissue (che è opaco e spesso goffrato) è modesto. Più comune è l'uso di coloranti per produrre tissue colorati (es. tovaglioli pastello, carta igienica colorata). Si usano coloranti diretti o basici, che vanno ritenuti nel foglio con l'ausilio di coagulanti (es. PDADMAC come fissativo). I coloranti devono essere resistenti alla luce e non migranti. Il dosaggio di colore richiede un bilanciamento per evitare di sporcare l'acqua bianca (costosissimi se sprecati) – e qui la chimica di ritenzione aiuta molto.
- **Fluorochimici antiolio:** In alcuni prodotti tissue “industriali” (panni per officina, asciugatutto per cucina professionale) può essere utile la resistenza ad oli e grassi. In tali casi, raramente, si possono usare agenti idrofobizzanti come resine fluorurate per rendere la carta oleofoba. Questo è molto raro nel tissue consumer (che invece deve essere assorbente).
- **Enzimi per il trattamento fibra:** Un additivo non rimasto nel prodotto ma usato in processo – ad esempio enzimi di refining (cellulasi) per parzialmente accorciare e fibrillare fibre aumentandone la morbidezza senza eccesso di raffinazione meccanica. Alcune linee tissue applicano enzimi in pasta (in torre reazione) su fibre vergini per ottenere lo stesso effetto debonding e softening in modo “bio”. Questo consente di ridurre l'uso di debonder chimico e risparmiare energia di raffinazione. Gli enzimi poi vengono disattivati (per temperatura o pH) prima della formazione. L'uso di enzimi può ridurre la resistenza a secco ma aumentare il bulk e la morbidezza in modo controllato.
- **Agenti antifouling e altre sostanze di processo:** Ad esempio, antiodore (assorbitori di composti maleodoranti come zeoliti per H₂S, se c'è problema di odori), enzimi anti-stickies (per degradare contaminanti appiccicosi derivati da fibre riciclate e prevenire depositi). Anche l'uso di talco o filler specifici come colle anti-stick (per depositi) può essere considerato un “additivo ausiliario”.

In sostanza, oltre ai classici additivi c'è un mondo di composti complementari che il produttore può impiegare per customizzare le proprietà del tissue. La scelta e necessità di questi altri additivi dipende molto dal segmento di prodotto:

- Per tissue igienico: ammorbidenti e lozioni sono importanti per distinguere prodotti premium (es. carta igienica balsamica con aloe), coloranti se serve differenziazione estetica.
- Per asciugatutto: magari un antimikrobico post trattamento (alcuni asciugatutto da cucina pubblicizzati come “anti-batterici” hanno un sale d’argento applicato in converting), oppure niente ammorbidenti ma più resina per massima forza.
- Per tissue industriale: additivi come lattice o fibre speciali (non chimici, ma approccio di mischiare fibre sintetiche) per dare proprietà di resistenza straordinarie. Ad esempio, alcuni wiper includono una percentuale di fibre poliestere legate con lattice acrilico: di fatto si entra nel campo dei tessuti non-tessuti, ma talvolta vengono prodotti su macchine tissue modificate.



Va ricordato infine l’impatto ambientale e normativo: ogni additivo che rimane nel prodotto deve essere conforme per l’uso previsto (contatto alimentare per tovaglioli/asciugatutto, sicurezza dermatologica per fazzoletti) e anche quello rilasciato in acque di scarico va controllato (es. coloranti, biocidi, fluorurati non devono superare limiti). Le evoluzioni normative spingono verso additivi più sostenibili: ad esempio, oggi si cerca di utilizzare materie prime rinnovabili (ammorbidenti da oli vegetali, antischiuma vegetali, resine wet strength senza AOX). Il settore tissue, proprio per il suo legame con prodotti di consumo quotidiano, è sensibile a queste tematiche e l’innovazione chimica va in questa direzione.

11. DIFFERENZE CHIMICHE TRA DIVERSE TIPOLOGIE DI TISSUE

Non tutti i prodotti tissue sono uguali, e di conseguenza anche i “cocktail” di additivi chimici variano a seconda delle caratteristiche richieste dal prodotto finale. Riassumiamo le differenze nelle strategie chimiche per alcuni principali tipi di tissue.

11.1 CARTA IGIENICA (USO DOMESTICO)

Obiettivo primario: morbidezza e disgregabilità. La carta igienica deve risultare soffice al tatto e dissolversi rapidamente nell’acqua di scarico.

Strategia chimica: si tende a minimizzare gli additivi che danno rigidità o permanenza.

Quindi:

- Wet strength: molto bassa. In genere niente resine PAE permanenti. Se serve un minimo di tenuta a umido (per evitare che la carta si rompa solo con umidità corporea), si possono usare resine temporanee (GPAM) o piccole dosi di guar, giusto per avere un 5-10% di resistenza umido che sparisce presto. Alcune carte igieniche economiche non usano affatto resine.
- Dry strength: amido poco o zero, specie nei veli superficiali. Eventualmente un po’ di amido cationico in uno strato interno per conferire resistenza in macchina (per evitare rotture in produzione), ma limitato per non inficiarne la morbidezza.
- Ammorbidenti/debonder: sì, spesso utilizzati. Quaternari come debonding agent in pasta sono comuni nei prodotti premium per massimizzare la morbidezza. Quantità calibrata per non distruggere troppo la resistenza.
- Lozioni e profumi: possibili aggiunte in converting (carta igienica con lozione all’aloe, profumata nel tubetto, ecc.), che però non impattano la produzione in macchina.
- Coating Yankee: tarato per ottenere creping molto morbido, con adesivi non troppo indurenti e buon uso di release. Infatti la morbidezza del bath tissue è in gran parte dovuta a un crepe “soffice” e macro-strutturato. Ciò comporta coating ricchi di release e plasticizzanti.
- Biocidi: come per ogni tissue, ma qui importante prevenire odori (nessuno vuole carta igienica maleodorante!). Quindi forte controllo microbiologico per evitare formazione di composti solfurei o ammoniacali.

- Coloranti: per quella bianca nessuno. Esistono carte igieniche colorate o stampate: in tal caso si usano coloranti diretti e inchiostri alimentari in stampa, fissati con micro-coagulanti.

11.2 ASCIUGATUTTO (CARTA DA CUCINA IN ROTOLO):

Obiettivo primario: resistenza (a secco e a umido) e assorbenza. Devono poter essere bagnati, strizzati leggermente, usati per strofinare superfici senza disfarsi.

Strategia chimica: sostanzialmente l'opposto della igienica:

- Wet strength: molto alta. Uso robusto di resine PAE. Valori di resistenza umido anche 20-30% di quella secco vengono ricercati. Tipicamente 0,5–1% di PAE in pasta. Ciò assicura che il foglio bagnato regga.
- Dry strength: impiego di amido cationico significativo (1-2%). Si vuole massima resistenza meccanica. Questo però riduce un po' il bulk, quindi spesso compensato con scelte di fibra adeguate (uso di più softwood).
- Ammorbidenti: nessuno nel wet-end. Anzi, la presenza di PAE e amido rende il foglio più rigido. Nel prodotto asciugatutto la morbidezza non è un driver di prezzo; conta di più la robustezza e la capacità di assorbire. Quindi nessun debonder (si vuole che le fibre restino ben legate).
- Assorbenza: per aumentare la capacità assorbente, oltre alla struttura (goffratura) che è fondamentale, qualche produttore applica surfattanti idrofilizzanti (raramente, perché la cellulosa è già idrofila). Più comune è non effettuare alcuna collatura (no AKD/ASA; la carta deve rimanere completamente non idrofoba).
- Coating Yankee: impostato per un creping relativamente leggero. Infatti un asciugatutto troppo "crepato" sarebbe voluminoso ma poco resistente allo strofinio. Si preferisce un crepe fine e controllato. Ciò significa patine più dure: adesivi PAE robusti, meno release. In molti asciugatutto la lama crepe è angolata diversamente per un creping a minore percentuale (es. 10% crepe vs 20% di igienica). Dunque anche il coating chimico riflette questo: formulazioni adesive più tenaci.
- Stratificazione fibre: non un additivo, ma una tecnica: di solito i due veli di un asciugatutto sono realizzati con miscele fibrose diverse – uno strato può avere più fibra corta per assorbenza superficiale, l'altro più fibra lunga e resine per tenacità. Questo non è un "ausiliare" ma va citato come differenza progettuale.
- Possibili additivi extra: talvolta antimicrobici (es. sale d'argento) post-converting per fare marketing "antibatterico". Non influenza il processo di fabbricazione.

- Biocidi in processo: standard, ma attenzione a non eccedere col cloro se presente PAE (l'ossidante potrebbe attaccare le resine a umido riducendone efficacia). Spesso per linee con molto PAE si preferiscono isothiazolinoni e meno ossidanti.

11.3 FAZZOLETTI E VELINE FACCIALI:

Obiettivo primario: morbidezza superficiale ed integrazione (non devono sfaldarsi con lo sfregamento sul viso). Sono multi-velo molto soffici.

Strategia chimica: simile alla carta igienica di qualità, con enfasi su tatto:

- Wet strength bassa (non importante che reggano bagnati).
- Dry strength moderata: un po' di amido per evitare che si polverizzino, ma poco per non irrigidire.
- Debonders spesso usati per dare mano setosa (fazzoletti balsamici).
- Coating Yankee calibrato per crepe micro (fogli leggerissimi). Spesso le veline hanno un creping fine per dare morbidezza "velluto".
- Possono avere lozioni aggiunte (es. balsamo).

11.4 TOVAGLIOLI E PRODOTTI AWAY-FROM-HOME:

I tovaglioli cartacei, specie per uso domestico, richiedono un equilibrio: devono assorbire e avere un po' di resistenza a umido (non disfarsi subito con cibo), ma non servono quanto un asciugatutto. Spesso sono colorati o stampati.

Strategia chimica:

- Wet strength: generalmente presente ma a livelli medi (magari 0,3-0,5% PAE).
- Dry strength: un po' di amido.
- Debonder: raramente, perché la morbidezza non è critica come per fazzoletti; e troppa morbidezza farebbe percepire il tovagliolo come "poco consistente". Si preferisce un tovagliolo un po' più rigido (facilita piega e tenuta).
- Colori: aggiunta di coloranti diretti o pigmenti (es. tovaglioli rossi, verdi per eventi). Richiede buon coagulante e retention per fissarli.
- Spesso i tovaglioli sono prodotti su macchine tissue dedicate con modulazioni chimiche su misura (ad es. collatura leggera se servono un po' resistenti a olio? Anche se la maggior parte li vuole assorbenti).

11.5 PRODOTTI TISSUE INDUSTRIALI E SPECIALI:

Comprende panni monouso per officine, carte per medicale (lenzuolini medici), carta igienica per aeroplani (che deve dissolversi ultra-rapidamente), ecc.

Strategia chimica: varia caso per caso:

- Panni industriali ultra-resistenti: combinano fibre tessili (polipropilene) e cellulosa, più lattice. Qui si va oltre la chimica tradizionale del tissue, entrando nel campo dei “hybrid nonwoven”. L’uso di chimica retention è altissimo per trattenere il lattice e le fibre sintetiche. Bagnabilità controllata a seconda dell’uso (possono addirittura avere trattamenti idrofobizzanti se servono per solventi).
- Lenzuolini medici: devono avere una certa resistenza a umido (PAE presente), ma anche essere economici (quindi filler CaCO_3 a volte aggiunto per ridurre costo; col rischio di polvere, quindi serve buon retention).
- Carte tissue riciclate (per prodotti economici): se si usano molte fibre riciclate, la chimica va adattata a domanda anionica elevata, per cui più coagulanti (PAC, poliammina) e enzimi anti-stickies per gestire contaminanti. Spesso necessitano più biocidi (pulp riciclata è carica batteri) e magari più profumo per coprire eventuali odori residui.

Come si vede, la “ricetta chimica” di un tissue è fortemente determinata dal target di prodotto. Molte cartiere hanno linee flessibili che producono più tipi variando opportunamente gli additivi:

per esempio, modulando la percentuale di resina a umido e di debonder si può passare a produrre rotoli cucina oppure rotMolte cartiere multifunzionali regolano dunque la propria chimica in base al prodotto: ad esempio, riducendo le resine a umido e inserendo un debonding si può passare da un rotolo asciugatutto robusto a una carta igienica soffice, usando la medesima macchina ma con strategie chimiche diverse. Questa flessibilità richiede una profonda conoscenza dell’interazione tra fibre, additivi e parametri di processo, confermando come la chimica rivesta un ruolo centrale nel mondo del tissue.

12. CONCLUSIONI

La produzione di carta tissue moderna è un processo altamente sofisticato dove la chimica applicata gioca un ruolo determinante nel garantire performance produttive e qualità del prodotto finito. Attraverso questa disamina tecnica, si è evidenziato come ciascun gruppo di additivi – dai coagulanti/flocculanti, agli amidi e resine, ai biocidi, antischiuma e agenti di coating – contribuisca con una funzione specifica al delicato equilibrio del processo tissue:

- Il controllo delle interazioni colloidali (potenziale zeta, flocculazione) mediante coagulanti e flocculanti assicura elevata ritenzione di fibre e cariche senza sacrificare la formazione del foglio.
- L'uso mirato di polisaccaridi (amidi) e polimeri sintetici (resine wet-strength) consente di modulare la resistenza meccanica a secco e a umido, adattandola alle esigenze dei vari prodotti (dalla disgregabilità della carta igienica alla tenacia degli asciugatutto).
- Il mantenimento di un ambiente microbiologicamente controllato tramite biocidi garantisce condizioni igieniche del processo, prevenendo difetti e degrado degli additivi stessi (come la degradazione dell'amido da parte di batteri).
- La gestione di aria e schiuma tramite disaeranti e antischiuma permette al processo di svolgersi in modo regolare, evitando problemi di formazione e di efficienza causati da bolle indesiderate.
- L'ottimizzazione della patina Yankee con adesivi e distaccanti dedicati è cruciale per ottenere il creping desiderato – vero cuore della tecnologia tissue – raggiungendo i livelli di morbidezza e volume richiesti senza compromettere l'integrità del foglio o la durata dei macchinari.
- Additivi speciali (ammorbidenti, lozioni, coloranti, enzimi, ecc.) completano l'arsenale tecnologico a disposizione, permettendo ai produttori di differenziare i prodotti tissue in un mercato competitivo, pur dovendo bilanciare attentamente ogni aggiunta per evitare effetti collaterali indesiderati (ad es. un debonder che interferisce con la patina Yankee, o un colorante che riduce la resistenza).

Un tema ricorrente emerso è quello del compromesso ottimale: ogni additivo porta benefici ma anche potenziali trade-off (es. più resina = foglio più forte ma meno soffice; più debonder = morbidezza maggiore ma calo di resistenza; più flocculante = ritenzione superiore ma rischio di formazione peggiore). Il successo nel produrre carta tissue di alta qualità risiede proprio nella capacità di trovare il giusto punto di equilibrio in questa rete di interazioni

chimico-fisiche. Ciò richiede controllo analitico (monitoraggi continui di pH, carica, residui), prove sperimentali (jar test, pilota) e adattamento fine dei dosaggi in tempo reale.

Dal punto di vista operativo, le moderne linee tissue integrano sistemi di dosaggio automatico e di sensoristica avanzata che permettono di modulare gli additivi in funzione delle condizioni istantanee (ad es. adjusting del coagulante in base al potenziale zeta misurato online, o dosi di antischiuma correlate al segnale di un detector di aria). Questo porta a un processo più stabile, economico ed ecologico, riducendo sprechi di chimica e minimizzando l'impatto ambientale (acque di scarico più pulite, minori emissioni).

In definitiva, la tesina ha mostrato come la scienza chimica sia profondamente intrecciata con la tecnologia cartaria del tissue. Le "ricette" di additivi evolvono costantemente: le ricerche attuali puntano a prodotti più sostenibili (biopolimeri, enzimi) e a ridurre sostanze potenzialmente problematiche (ad es. eliminazione di formaldeide, composti organoclorurati, ecc.), senza sacrificare le prestazioni. La conoscenza approfondita dei meccanismi di azione di ogni ausiliario e delle loro sinergie è ciò che consente ai tecnologi di fabbrica di ottimizzare il processo per ottenere carte tissue sempre più performanti in termini di morbidezza, resistenza, assorbenza e purezza, soddisfacendo al contempo le normative ambientali e di sicurezza.

In un settore altamente competitivo, la padronanza nell'applicazione dei prodotti chimici – dal laboratorio di R&D fino alla messa a punto on-site – rappresenta un fattore chiave di successo. Si può concludere che l'approccio integrato descritto in questo lavoro (chimica di base + additivi funzionali + controllo di processo) costituisce il fondamento su cui si basa la produzione efficiente di carta tissue di alta qualità. Continui aggiornamenti tecnico-scientifici e scambio di know-how (come quelli sintetizzati nelle slide formative di settore citate in bibliografia) permetteranno di far fronte alle nuove sfide, quali la necessità di chiudere i cicli idrici, impiegare fibre riciclate più difficili e al contempo innovare il prodotto finale (tissue più soffici, più resistenti e anche più sostenibili).

In conclusione, la chimica applicata al tissue è un campo dinamico e affascinante, in cui le competenze chimiche, ingegneristiche e operative convergono per trasformare una "semplice" rete di fibre di cellulosa in quei prodotti di uso quotidiano affidabili e performanti che tutti conosciamo.

13. BIBLIOGRAFIA

- Paccagnella M., Gurzoni A. (2020) – Dispense tecniche sul processo di produzione della carta tissue (slide su potenziale zeta, ritenzione, controllo depositi e patina Yankee). Materiale didattico interno, Corso di formazione settore cartario.
- ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) (2005) – Carta e Ambiente – Analisi del comparto di produzione della carta. Documento divulgativo sulle tecniche di produzione e gestione ambientale nel settore cartario.
- Pawlak J.J., Frazier R., Vera R.E., Wang Y., Gonzalez R. (2022) – “Review: The softness of hygiene tissue,” *BioResources* 17(2), 3509-3550. (Articolo di rassegna sulle caratteristiche di morbidezza nel tissue e gli additivi ammorbidenti).
- Nalco Water (Ecolab) (2011) – Yankee Coating Systems – The Functional Interface. Articolo tecnico sulle chimiche di coating Yankee e il modello “Coating Space” di bilanciamento adesione/rigidità.
- BTG e Acqua Belli (2020) – Contaminazione batterica e controllo dei depositi, Trattamento acque e circuiti chiusi. Slide tecniche e casi studio sulle strategie di controllo microbiologico (biocidi ossidanti e non) e sulla gestione delle acque di processo in cartiera.
- BREF Industria Carta e Cartone (2015) – Documento di riferimento UE sulle migliori tecniche disponibili (MTD). Sezione sulle sostanze chimiche ausiliarie nel processo di fabbricazione carta tissue e riduzione dell’impatto ambientale (ISPRA, sintesi italiana).
- Gigac J., Fišerová M. (2008) – Fibre furnish selection, stock preparation and wet-end chemistry for tissue grades. Conferenza Tappi PaperCon. (Linee guida sulla scelta delle fibre e l’uso di additivi per diverse categorie di tissue).
- Chapters in “Tissue World Magazine” (2018–2021) – Articoli tecnici vari sul miglioramento del processo tissue: ad es. “Advances in Wet Strength Resin Technologies”, “Enzymatic approach to energy reduction in tissue making”, “Innovative Yankee coating practices”. (Fonti online consultate per trend di innovazione nel settore).