



REGIONE DEL VENETO

Esame di fine corso

Cod. Progetto 4262/2/668/2015 - Cod. Intervento 4262/004/636/DEC/22

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

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

La problematicità e la gestione degli stickies nel processo di produzione di carta da macero

di Maurino Francesco



**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. DEFINIZIONE E CLASSIFICAZIONE DEGLI STICKIES**
- 3. CHIMICA DEGLI ADESIVI RESPONSABILI DEGLI STICKES**
- 4. COMPORTAMENTO DEGLI STICKES NEL PROCESSO OCC**
- 5. MECCANISMI DI FORMAZIONE DEI MICRO STICKIES**
- 6. INTERAZIONI CHIMICO E FISICHE NEL SISTEMA ACQUOSO**
- 7. IMPATTI SULLA MACCHINA CONTINUA**
- 8. TECNICHE ANALITICHE PER LA CARATTERIZZAZIONE**
 - 8.1. Analisi microscopiche
 - 8.2. Analisi con citometria di flusso
 - 8.2.1. Focalizzazione idrodinamica
 - 8.2.2. detezione fluorescente e selettività
 - 8.2.3. parametri morfologici e scattering
 - 8.2.4. vantaggi nel monitoraggio
- 9. STRATEGIE MECCANICHE DI RIMOZIONE**
 - 9.1. Screening
 - 9.2. Pulizia centrifuga (cleaners)
 - 9.3. Flottazione
 - 9.4. Dispersione a caldo
 - 9.5. Lavaggio e Frazionamento

10. STRATEGIE CHIMICHE DI CONTROLLO

- 10.1. Sistema microparticellare
- 10.2. Sistema inverso
- 10.3. Disperdenti e coagulanti
- 10.4. Punti di dosaggio

11. RUOLO DEI FISSATIVI E COAGULANTI CATIONICI

- 11.1. Meccanismo d'azione
- 11.2. Densità di carica e peso molecolare
 - 11.2.1. Alta densità di carica
 - 11.2.2. Peso molecolare
- 11.3. Differenze tra coagulanti e fissativi
- 11.4. Rischi del sovradosaggio

12. DETACKIFICATION E MECCANISMI DI ADSORBIMENTO

- 12.1. Meccanismi di adsorbimento minerale
- 12.2. Fattori critici per l'efficacia

13. EVOLUZIONE DELLE MATERIE PRIME OCC

- 13.1. Trend normativi e di mercato (2025-2026)
- 13.2. Dati e analisi interne

14. CONCLUSIONI

15. BIBLIOGRAFIA E RINGRAZIAMENTI

1. INTRODUZIONE GENERALE

Il riciclo della carta rappresenta uno dei pilastri fondamentali dell'economia circolare nel settore cartario.

In particolare, il recupero e la valorizzazione dell'OCC (Old Corrugated Containers) costituiscono una parte rilevante della produzione europea e mondiale di carte per imballaggio. Tuttavia, il processo di riciclo dell'OCC presenta numerose criticità tecniche, tra cui una delle più complesse e impattanti è rappresentata dagli stickies.

Con il termine stickies si identificano contaminanti adesivi di natura organica, prevalentemente polimerica, che derivano da colle, nastri adesivi, etichette, hot-melt, adesive pressure sensitive, rivestimenti e altri materiali estranei presenti nel macero. Queste sostanze, durante il processo di spappolamento e lavorazione, possono frammentarsi, disperdersi o aggregarsi, generando problematiche operative, qualitative ed economiche.

La gestione degli stickies è una sfida multidisciplinare che coinvolge chimica dei polimeri, chimica colloidale, processi di separazione meccanica, ingegneria impiantistica e formulazione chimica di additivi specifici.

La loro presenza può determinare depositi su tele e feltri, difetti superficiali nel foglio, rotture in macchina, riduzione dell'efficienza produttiva e aumento dei costi di manutenzione.

Questa tesina analizza la natura chimica degli stickies, il loro comportamento nel sistema acquoso, le problematiche operative connesse e le strategie tecnologiche e chimiche per il loro controllo e la loro mitigazione, con un'attenzione particolare nell'impianto OCC della cartiera "Smurfit Westrock" di Verzuolo (CN).

2. DEFINIZIONE E CLASSIFICAZIONE DEGLI STICKIES

Gli stickies possono essere classificati in base a diversi criteri: dimensione, origine, composizione chimica e comportamento nel processo.

Dal punto di vista dimensionale si distinguono in:

- Macro-stickies: particelle di dimensioni superiori a circa 100–150 μm , generalmente separabili mediante screening e pulizia (via meccanica)
- Micro-stickies: particelle inferiori a 100 μm , più difficili da rimuovere e responsabili di problematiche più subdole, solitamente debellati per via chimica.

Dal punto di vista dell'origine si distinguono in:

- Stickies primari: derivanti direttamente dagli adesivi presenti nel macero
- Stickies secondari: formati per frammentazione, coalescenza o trasformazione chimico-fisica nel processo.

Dal punto di vista chimico, gli stickies sono costituiti principalmente da polimeri termoplastici quali:

- Poliacrilati
- Poliuretani
- Copolimeri stirene-butadiene
- EVA (etilene-vinil-acetato)
- Resine hot-melt a base poliolefinica

La composizione può includere plastificanti, tackifier (resine adesivanti), cere, cariche minerali e additivi vari.

3. CHIMICA DEGLI ADESIVI RESPONSABILI DEGLI STICKIES

La comprensione chimica degli stickies richiede un'analisi dettagliata delle matrici polimeriche che li compongono.

Gli adesivi pressure sensitive (PSA) sono spesso basati su poliacrilati o copolimeri stirenici.

La loro struttura comprende una fase elastomerica che conferisce adesività permanente e una fase resinosa che aumenta il tack.

Le resine hot-melt sono generalmente costituite da copolimeri EVA o poliolefine modificate, caratterizzate da un comportamento termoplastico e da una transizione vetrosa relativamente bassa.

Dal punto di vista chimico-fisico, i parametri fondamentali sono:

- Temperatura di transizione vetrosa (T_g)
- Peso molecolare medio
- Distribuzione del peso molecolare e superficie specifica
- Polarità del polimero

La polarità influenza fortemente l'interazione con l'ambiente acquoso del processo cartario.

Polimeri più apolari tendono a coagulare e a depositarsi sulle superfici metalliche e polimeriche della macchina continua.

4. COMPORTAMENTO NEL PROCESSO OCC

Durante lo spappolamento dell'OCC nel pulper, gli adesivi vengono sottoposti a stress meccanico e idrodinamico.

In questa fase possono verificarsi:

- Frammentazione meccanica in micro-particelle
- Rammollimento per effetto della temperatura (principalmente dell'acqua del ciclo)
- Dispersione colloidale
- Agglomerazione

La temperatura del pulper, il pH, la presenza di tensioattivi e la forza di taglio influenzano in modo significativo la dimensione e la distribuzione degli stickies nel sistema.

In ambiente acquoso debolmente acido (tipico del processo OCC), molti adesivi subiscono variazioni di viscosità e coesione.

Il sistema si comporta spesso come una sospensione colloidale instabile, soggetta a fenomeni di flocculazione e coalescenza.

5. MECCANISMI DI FORMAZIONE DEI MICRO-STICKIES

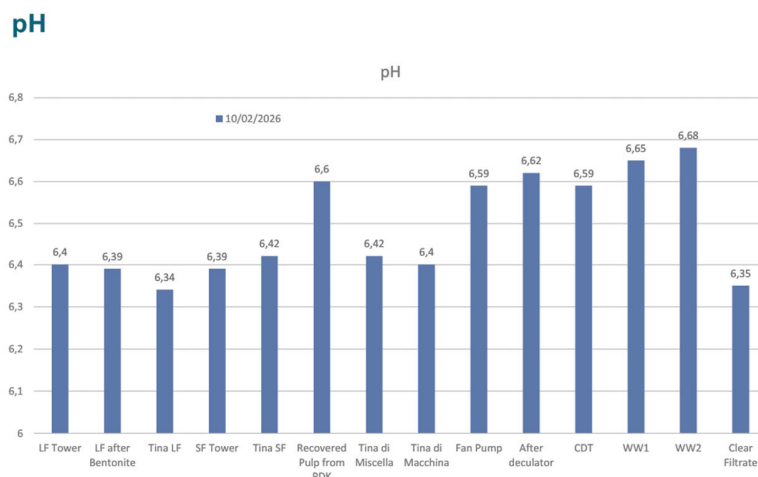
I micro-stickies rappresentano la frazione più critica poiché sfuggono ai sistemi di separazione meccanica tradizionali e si formano nelle diverse fasi del processo.

La loro formazione è legata a:

- Elevato shear nel pulper
- Sbalzi di temperatura e pH
- Conducibilità e domanda cationica non costante

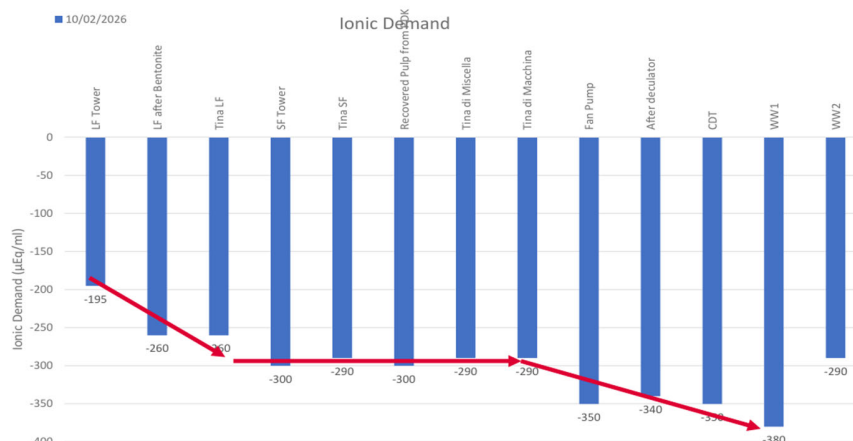
5.1 Analisi delle condizioni operative nell'impianto di Verzuolo.

In maniera particolare se guardiamo l'impianto di Verzuolo, da rilevazioni e analisi fatte in diversi punti del ciclo si può vedere come il pH sia in leggero aumento nel ciclo corto e nelle WW (white water); mentre il profilo di temperatura è abbastanza stabile e non troppo alto, quindi teoricamente non dovrebbe generare problematiche significative. Se invece si va a guardare la domanda cationica si può vedere come nel ciclo corto si ha un leggero incremento, il quale può esser portato dall'aggiunta di bentonite, avente la funzione di ritentivo. Anche la torbidità gioca un ruolo fondamentale: questo dato va ad evidenziare la quantità di micro-sostanze in sospensione all'interno del sistema, più la torbidità è alta più il sistema è carico di sostanze inquinanti e di fini agglomerati.



(andamento del pH nelle varie fasi del processo)

Cationic Demand



(variazioni della domanda cationica nelle varie fasi del processo)

6. INTERAZIONI CHIMICHE-FISICHE NEL SISTEMA ACQUOSO.

Nel circuito corto della macchina continua, gli stickies interagiscono con:

- Fibre cellulosiche
- Fini e cariche minerali
- Amidi cationici
- Polimeri di ritenzione e coagulazione
- Sali disciolti

Le cariche superficiali svolgono un ruolo determinante.

Molti stickies sono idrofobici e scarsamente ionizzati, ma possono adsorbire specie cationiche o anioniche.

L'aggiunta di polimeri cationici può favorire la neutralizzazione delle cariche e la loro fissazione sulle fibre, riducendo la frazione libera nel sistema.

7. IMPATTI SULLA MACCHINA CONTINUA

Gli stickies possono depositarsi su:

- Tele di formazione
- Feltri di pressa
- Cilindri essiccatori, tele e raschie
- Rulli guida

I depositi causano:

- Rotture del foglio
- Difetti superficiali (holes, spots)
- Riduzione della scolantezza
- Incremento dei fermi macchina e manutenzioni

Con conseguente perdita di profitto ed efficienza

8. TECNICHE ANALITICHE PER LA CARATTERIZZAZIONE

La caratterizzazione degli stickies richiede metodologie analitiche avanzate:

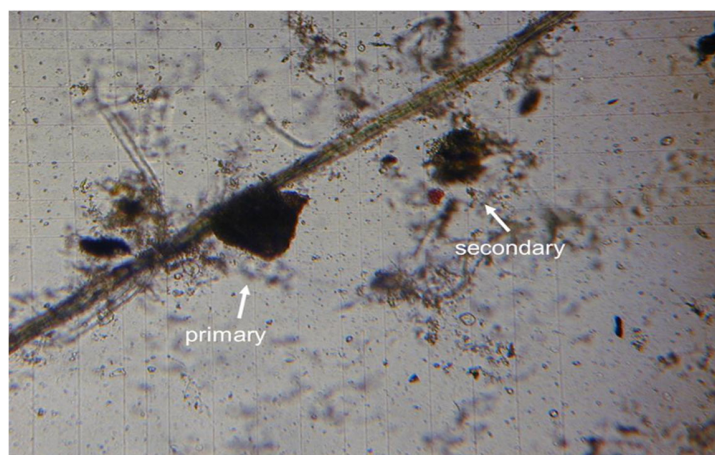
- FTIR per identificazione funzionale
- DSC per determinazione della Tg (temperatura di transizione vetrosa)
- GPC per analisi del peso molecolare
- Microscopia ottica e SEM
- Metodi di conteggio micro-stickies (Pulmac, screening fine)

La combinazione di tecniche chimiche e morfologiche consente una comprensione approfondita del contaminante.

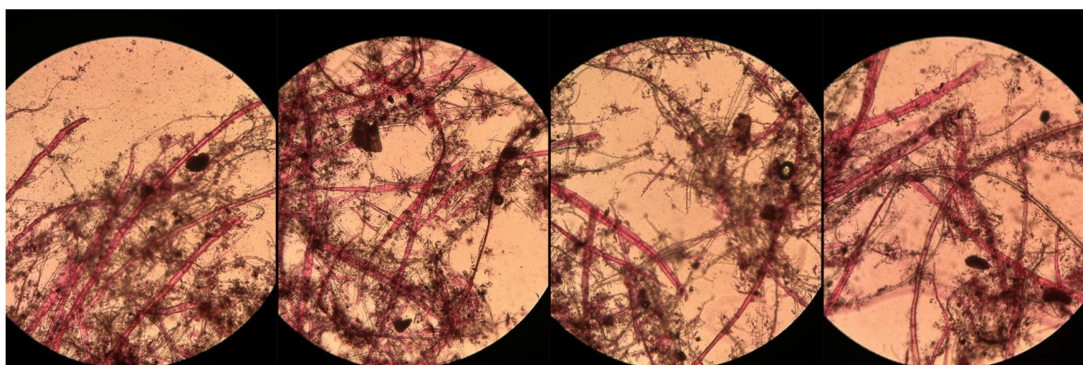
8.1 ANALISI MICROSCOPICHE

Da analisi microscopiche e prove condotte dal tecnico Mickael Courouble, tecnico industriale di Nalco (Ecolab Company) si può ben vedere la differenza tra stickes primario e secondario, sia per forma che per punto di visione. Infatti lo stickies primario è quell'inquinante che è già presente nel macero, ma che viene quasi totalmente eliminato nella preparazione impasti con rimozione meccanica. Esso si presenta sotto forma di “piastrina” con una superficie relativamente contenuta e si forma per via degli sforzi di taglio all'interno del pulper e nelle successive pompe.

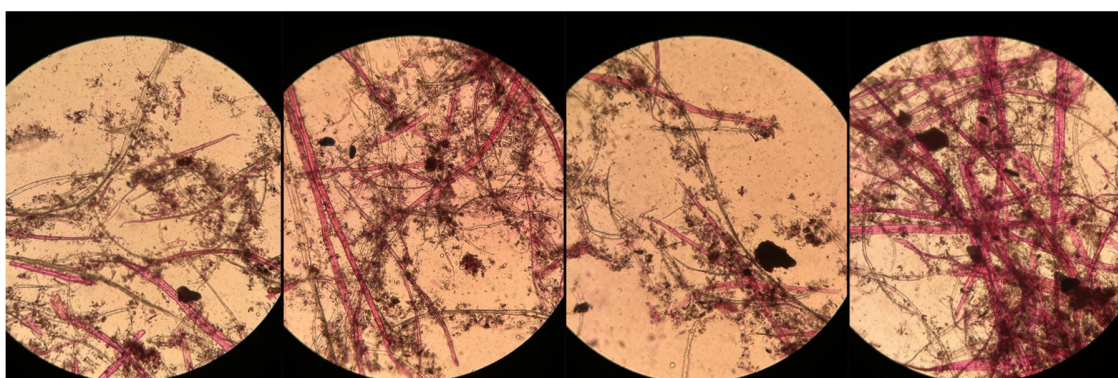
Lo stickies secondario invece si forma più avanti nel processo ed è formato da agglomerati di particelle sospese in maniera colloidale all'interno del ciclo delle acque, le quali date la loro carica ionica si agglomerano. Esso si presenta come una struttura più voluminosa e tridimensionale, con un'ampia superficie specifica. Questo tipo di particella è pressoché impossibile eliminarla per via meccanica date le sue microscopiche dimensioni, perciò si deve ricorrere alla chimica per cercare di “inertizzarla” e “agganciarla” al feltro fibroso senza creare difetti.



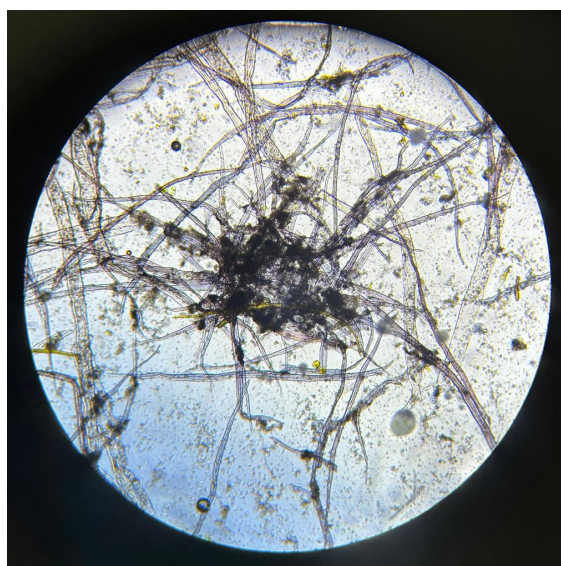
Nelle varie immagini del microscopio si può vedere come la preparazione impasti rimuove la quasi totalità degli stickies primari e man mano che la pasta viene diluita con l'acqua di processo si può osservare un aumento dell'inquinamento dell'impasto. Si possono inoltre osservare agglomerati di stickies primari nelle "White Water 1" che possono creare depositi in seccheria.



(campione da torre fibra corta)



(campione da fan pump)



(stickies ancorato alle fibre in un foglio di carta finito)

8.2 ANALISI DEI CONTAMINANTI MEDIANTE CITOMETRIA DI FLUSSO

La citometria di flusso (Flow Cytometry) rappresenta una metodologia analitica avanzata per la caratterizzazione rapida e quantitativa di particelle in sospensione. Sebbene sia una tecnica nata in ambito biomedico, la sua applicazione nell'industria cartaria si è rivelata fondamentale per il monitoraggio in tempo reale dei contaminanti idrofobici, quali pitch e stickies.

Principi Funzionanti della Tecnica

Il processo analitico si articola in tre fasi principali: la focalizzazione idrodinamica, l'eccitazione mediante sorgente laser e la rilevazione dei segnali ottici.

8.2.1 FOCALIZZAZIONE IDRODINAMICA

Il campione viene iniettato all'interno di un flusso laminare di un fluido ausiliario (sheath fluid). Per effetto della pressione, le particelle vengono accelerate e costrette a disporsi in una colonna a file singolo (focalizzazione idrodinamica). Questo meccanismo garantisce che ogni singola particella attraversi il punto di analisi individualmente, permettendo una misurazione particella per particella ad alta risoluzione.

8.2.2 DETEZIONE FLUORESCENTE E SELETTIVITA' (NILE RED)

Per distinguere i contaminanti dalla matrice fibrosa (cellulosa), il campione viene pre-trattato con il colorante fluorescente Nile Red.

- **Selettività:** Il Nile Red è un fluorocromo fortemente lipofilo; esso viene assorbito selettivamente solo dalle particelle con caratteristiche idrofobiche.
- **Analisi Simultanea:** Durante il passaggio attraverso il raggio laser, il sistema rileva contemporaneamente la luce diffusa (analisi totale) e l'emissione di fluorescenza (analisi delle particelle idrofobiche). Ciò consente di quantificare la frazione di contaminanti rispetto alla popolazione totale di particelle presenti nella sospensione.

8.2.3 PARAMETRI MORFOLOGICI E SCATTERING

L'interazione tra il laser e la particella genera diversi segnali ottici che permettono di ricavare informazioni morfologiche:

- **Forward Scatter (FSC):** la luce diffusa a piccoli angoli rispetto all'asse del raggio laser. L'intensità di questo segnale è proporzionale alle dimensioni della particella.
- **Side Scatter (SSC):** la luce diffusa a 90° rispetto al raggio incidente. Questo parametro fornisce indicazioni sulla complessità strutturale e sulla granularità interna del corpo analizzato.

8.2.4 VANTAGGI NEL MONITORAGGIO DI PROCESSO

Rispetto ai metodi gravimetrici tradizionali o alle estrazioni con solventi (metodo Soxhlet), la citometria di flusso offre vantaggi competitivi determinanti per l'industria 4.0:

Tempestività: I risultati sono disponibili in pochi minuti, permettendo interventi correttivi immediati sul dosaggio degli additivi chimici (es. fissativi o disperdenti).

Statistica Significativa: il sistema è in grado di analizzare migliaia di particelle al secondo, fornendo una distribuzione dimensionale e chimica statisticamente robusta del "carico di disturbo" presente nel circuito delle acque o nell'impasto.

Prevenzione dei Fermi Macchina: identificando precocemente l'aumento di particelle idrofobiche, è possibile prevenire la formazione di depositi sulle tele, sui feltri e sui cilindri essiccatori, riducendo drasticamente il rischio di rotture del foglio e difetti estetici nel prodotto finito.

9. STRATEGIE MECCANICHE DI RIMOZIONE

Per capire come rimuoverli, bisogna dividerli in base alla dimensione:

- Macro-stickies: trattenuti da fessure di 0.10 - 0.15 mm. Sono l'obiettivo principale di pulper e successive fasi di epurazione.
- Micro-stickies: passano attraverso le fessure ma sono abbastanza grandi da creare problemi. Qui intervengono i sistemi di flottazione o la chimica.

9.1 LO SCREENING (EPURAZIONE A FESSURE)

È la linea di difesa più importante. Si basa sulla dimensione e sulla forma.

Epuratori a pressione (Screen): utilizzano cestelli forati o, più efficacemente, cestelli a fessure (fino a 0.10 mm). Nel caso pratico di Verzuolo le fessure sono da 0,18 mm.

Profilo della barra: i moderni cestelli utilizzano barre con profili idrodinamici che generano impulsi di pressione e depressione. Questo evita che le fibre occludano la fessura, permettendo agli stickies (più rigidi o di forma irregolare) di essere scartati.

Criticità: la temperatura. Se l'impasto è troppo caldo, gli stickies diventano più deformabili e possono "estrudersi" attraverso le fessure sotto la pressione della pompa.

9.2 LA PULIZIA CENTRIFUGA (CLEANER)

Si basa sulla differenza di densità rispetto all'acqua e alla fibra.

- Cleaner ad alta consistenza: posizionati subito dopo il pulper, rimuovono i contaminanti pesanti (sabbia, metalli) a cui spesso gli stickies sono attaccati.
- Cleaner a bassa densità (Lightweight Cleaners): poiché molti stickies (cere, hot-melt, polistirolo) sono più leggeri dell'acqua ($d < 1.0 \text{ g/cm}^3$), vengono convogliati verso il centro del vortice del cleaner e rimossi dal "core" centrale.
- Reverse Cleaners: progettati specificamente per far uscire "l'accettato" dal basso e i contaminanti leggeri (stickies) dall'alto.

9.3 LA FLOTTAZIONE (DEINKING/FLOTATION)

Utilizzata principalmente nel riciclo della carta da macero, sfrutta l'idrofobicità degli stickies.

Viene iniettata aria nel sistema; le bollicine d'aria si attaccano alle particelle di inchiostro e ai micro-stickies (che sono naturalmente idrofobi).

Il complesso "aria-contaminante" sale in superficie formando una schiuma densa che viene rimossa meccanicamente da appositi schiumatori.

9.4 DISPERSIONE A CALDO (DISPERGER)

Questa non è una rimozione vera e propria, ma una riduzione dimensionale meccanica.

- L'impasto viene scaldato e fatto passare tra due dischi rotanti con denti metallici (gap millimetrico).
- L'azione di taglio rompe i macro-stickies in particelle così fini (micro-stickies) da non essere più visibili o dannose per la formazione del foglio.
- Attenzione: Questa strategia aumenta il carico di micro-stickies nel sistema, rendendo fondamentale l'uso di fissativi chimici per evitare che si riagglomerino a valle del processo.

9.5 LAVAGGIO E FRAZIONAMENTO

Lavaggio (Washing): rimuove i micro-stickies più fini e i "fines" attraverso tele filtranti. È molto efficace ma genera un alto carico inquinante nelle acque di scarico.

Frazionamento: divide le fibre lunghe dalle corte. Gli stickies tendono a concentrarsi nella frazione di fibre corte o nei fini, permettendo un trattamento chimico o meccanico mirato solo su una parte del flusso (ottimizzazione dei costi).

10. STRATEGIE CHIMICHE DI CONTROLLO

La gestione chimica degli stickies si basa su:

- Fissativi (polimeri cationici a basso peso molecolare e alta superficie specifica)
- Detackifier (minerali come talco o bentonite)
- Disperdenti o coagulanti
- Enzimi specifici

10.1 SISTEMA MICROPARTICELLARE PAM/BENTONITE

Meccanismo chimico-fisico:

La PAM è un polimero con gruppi cationici che neutralizzano la carica anionica del sistema.

Si assorbe su fibre e contaminanti (pitch e stickies)

Va a formare dei legami a ponte tra le fibre e le particelle creando dei fiocchi primari.

La bentonite interagisce con le catene polimeriche formando una struttura lamellare espansa.

Effetti sugli stickies:

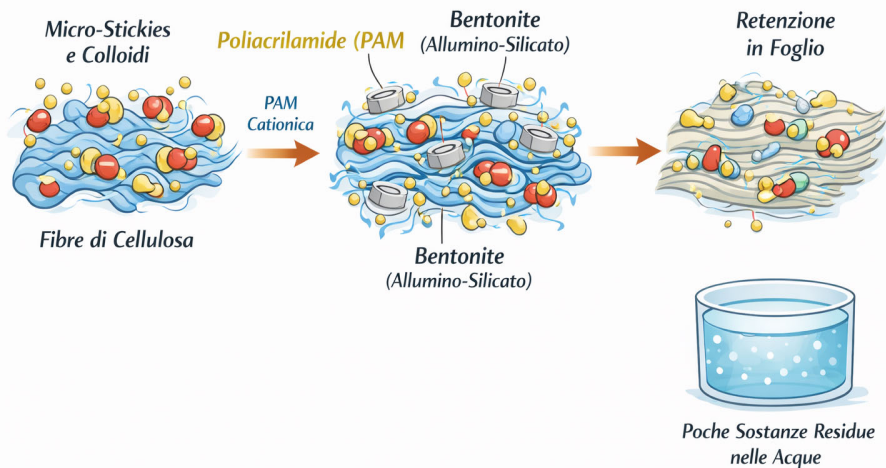
- Incorporazione nei flocculi
- Riduzione della frazione libera
- Minore tendenza alla deposizione su superfici calde

10.2 SISTEMA MICROPARTICELLARE INVERSO (BENTONITE/PAM)

Andando a dosare prima la bentonite si può vedere come essa si disperde all'interno dell'impasto andando ad adsorbire elementi resinici e a modificare la superficie delle particelle sospese rendendole più suscettibili ad un trattamento successivo e abbassare la loro carica di "tacking".

L'aggiunta della poliacrilammide (PAM) va a formare dei microfloculi, i quali vanno a migliorare la ritenzione e il drenaggio in macchina.

Sistema Microparticellare (Bentonite/PAM) nel Processo Cartario



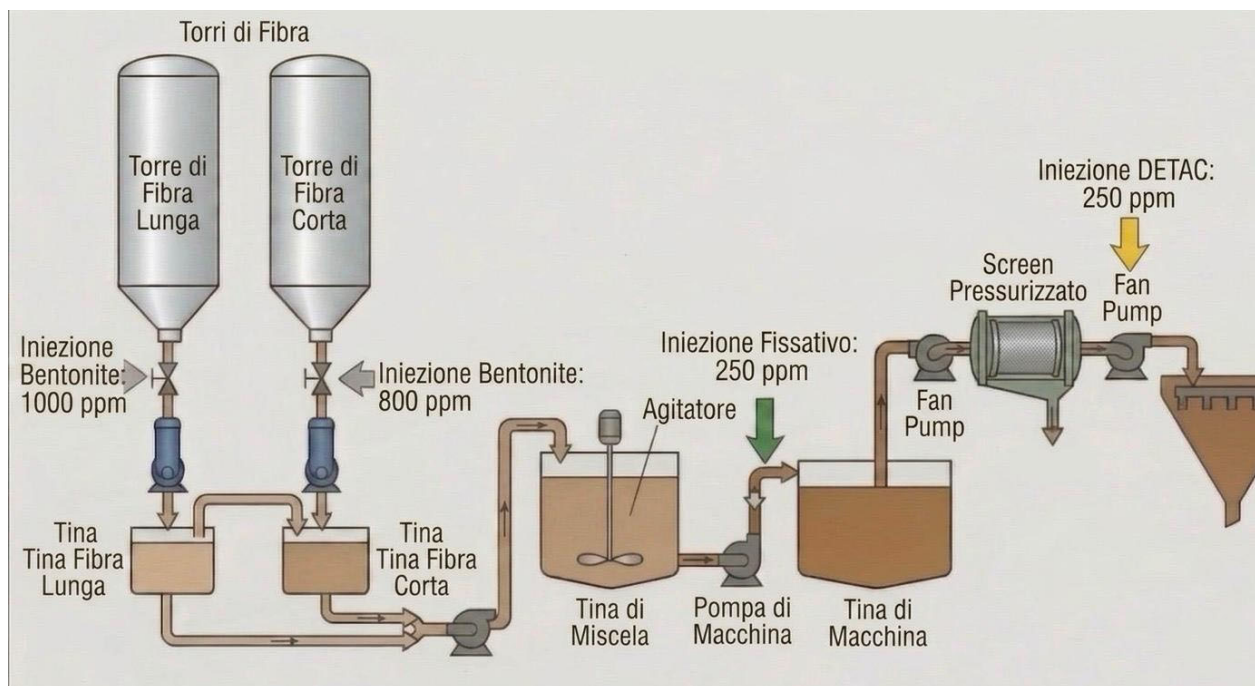
10.3 DISPERDENTI E COAGULANTI

All'interno delle strategie chimiche, queste due categorie operano con logiche opposte ma complementari per stabilizzare le particelle colloidali di stickies:

- **Disperdenti:** Sono generalmente tensioattivi o polimeri anionici. Il loro obiettivo è mantenere gli stickies in una forma estremamente suddivisa (sub-microscopica), impedendo loro di agglomerarsi e formare macro-contaminanti. Agiscono aumentando la repulsione elettrostatica o creando un impedimento sterico attorno alla particella. Sono utili per mantenere la pulizia dei circuiti, ma richiedono un efficace spurgo del ciclo delle acque per evitare l'accumulo nel sistema.
- **Coagulanti:** Sono prodotti ad alta densità di carica (spesso cationici) e basso peso molecolare. Il loro ruolo è quello di neutralizzare le cariche superficiali degli stickies e delle "micro-anionicità" (anionic trash). Creano dei micro-aggregati che possono poi essere fissati sulle fibre o rimossi tramite flottazione/filtrazione. Rappresentano spesso il primo stadio necessario prima dell'intervento di un flocculante (come la PAM).

10.4 PUNTI DI DOSAGGIO

Il punto in cui si dosa il singolo prodotto è molto importante per via del tempo di reazione e gli sforzi meccanici a cui è sottoposto. Nel caso studiato si è scelto di dosare la bentonite nelle torri di stoccaggio impasto già diviso in fibra lunga e fibra corta, così che la bentonite vada a passivare gli stickies già prima del punto di proporzionamento e diluizione dell'impasto. La poliacrilamide (PAM) invece viene dosata in aspirazione da tina di miscela, così da avere maggior punto di contatto e tempo di reazione, in modo da fissare gli stickies prima del ciclo breve. Si era fatto un periodo di prova spostando il punto di dosaggio in aspirazione fan pump su impasto diluito per ottimizzare il fissaggio del carbonato per aumentare la ritenzione ceneri ma si è ritornati al punto iniziale.



11. RUOLO DEI FISSATIVI E COAGULANTI CATIONICI

I fissativi sono generalmente polimeri cationici ad alta densità di carica.

Essi neutralizzano le superfici anioniche delle micro-particelle e promuovono l'ancoraggio degli stickies alle fibre, andando così a limitare il più possibile i depositi nelle prime acque.

La scelta del peso molecolare e della densità di carica è cruciale per evitare fenomeni di sovradosaggio.

11.1 IL MECCANISMO D'AZIONE: OLTRE ALLA SEMPLICE NEUTRALIZZAZIONE

In un impasto cartario, la maggior parte dei componenti (fibre, cariche minerali, "fines") possiede una carica superficiale negativa (potenziale Zeta negativo). Gli stickies e i pitch (sostanze resinose e adesive) tendono a rimanere in sospensione colloidale o a depositarsi sulle superfici metalliche della macchina.

I fissativi intervengono attraverso tre fasi principali:

1. Destabilizzazione Colloidale: il polimero cationico ad alta densità di carica si adsorbe sulle micro-particelle anioniche, annullando la repulsione elettrostatica che le tiene separate.
2. Fissazione (Patch Model): a differenza dei flocculanti, i fissativi creano dei "punti di attacco" (patch) ad alta carica positiva sulla fibra. Questo permette alle micro-particelle di ancorarsi stabilmente alla superficie fibrosa.
3. Inclusione nel Foglio: una volta "ancorati" alla fibra, gli stickies vengono trascinati fuori dal ciclo attraverso il foglio di carta finito, invece di accumularsi nelle acque di sottotela.

11.2 L'IMPORTANZA DELLA DENSITÀ DI CARICA E DEL PESO MOLECOLARE

La scelta del polimero non è universale.

Si gioca su due variabili: alta densità di carica e peso molecolare

11.2.1 Alta densità di carica (vcd - very high charge density)

È necessaria quando il sistema ha un'alta richiesta cationica (presenza massiccia di sostanze interferenti note come "anionic trash").

- Vantaggio: reazione rapida e neutralizzazione efficace.
- Rischio: se eccessiva, può invertire la carica del sistema (rendendolo positivo), causando la ri-dispersione dei contaminanti e l'inefficacia dei successivi ausiliari di ritenzione (spesso anionici).

11.2.2 Peso molecolare (MW)

I fissativi hanno solitamente un basso peso molecolare.

- Se il peso fosse troppo alto, il polimero inizierebbe a comportarsi da flocculante, creando macro-agglomerati di stickies che causerebbero macchie o buchi nel foglio.
- Un basso MW permette al polimero di penetrare meglio nelle porosità e di rivestire uniformemente le micro-particelle.

11.3 COAGULANTI E FISSATIVI: UNA DISTINZIONE SOTTILE

Spesso i termini sono usati come sinonimi, ma tecnicamente:

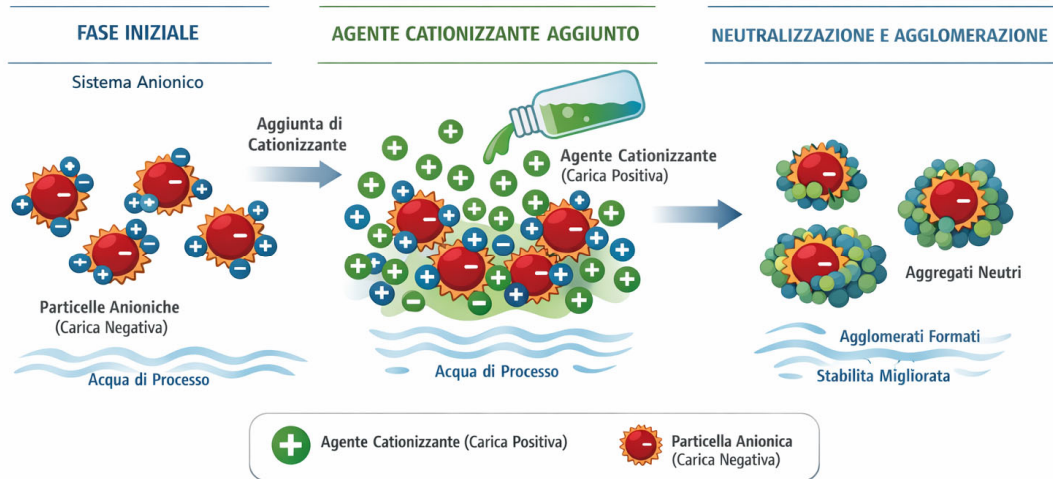
- I Coagulanti (es. Alluminato di sodio, PAC, PolyDADMAC): agiscono principalmente per ridurre lo spessore del doppio strato elettrico, favorendo l'aggregazione di particelle finissime in micro-floculi.
- I Fissativi: hanno il compito specifico di "legare" questi aggregati o le sostanze colloidali alla fibra cellulosa.

11.4 IL RISCHIO DEL SOVRADOSAGGIO E IL "PUNTO DI INVERSIONE"

Il sovradosaggio è il nemico numero uno nelle prime acque. Ecco cosa succede se si esagera:

1. Inversione di Carica: il sistema diventa cationico. Le fibre e le particelle, ora tutte positive, tornano a respingersi.
2. Perdita di Efficacia della Ritenzione: i sistemi di ritenzione moderni sono spesso basati su micro-particelle (come bentonite o silice colloidale) che sono fortemente anioniche. Se il sistema è sovradosato di fissativo, il flocculante non riesce più a creare i ponti necessari, crollando drasticamente in efficienza.

3. Depositi Chimici: Il fissativo in eccesso reagisce con altri additivi, creando complessi insolubili che sporcano i feltri e le tele pressa, rischiando di creare numerose rotture.



12. DETACKIFICATION E MECCANISMI DI ADSORBIMENTO

Gli stickies sono polimeri sintetici idrofobi e deformabili. La loro "appiccicosità" non è solo una proprietà chimica, ma dipende dalla loro alta energia superficiale e dalla capacità di fluire e aderire alle superfici (tele della macchina, cilindri essiccatori o al prodotto finito).

12.1 IL MECCANISMO DI ADSORBIMENTO MINERALE

L'aggiunta di particelle minerali (come il talco, la bentonite o alcune argille modificate) agisce secondo un principio di "schermatura".

- **Affinità Idrofobica**: il talco, ad esempio, è naturalmente organofilo (ama le sostanze organiche). Quando viene introdotto nell'impasto, "ricerca" attivamente la superficie dello stickie.

- Rivestimento (Passivazione): le lamelle del minerale si depositano sulla superficie della particella appiccicosa, circondandola completamente.
- Conversione di Superficie: lo stickie, originariamente morbido e adesivo, viene trasformato in un micro-aggregato rigido e "rivestito". La superficie esterna non è più il polimero coloso, ma il minerale inerte.

12.2 FATTORI CRITICI PER L'EFFICACIA

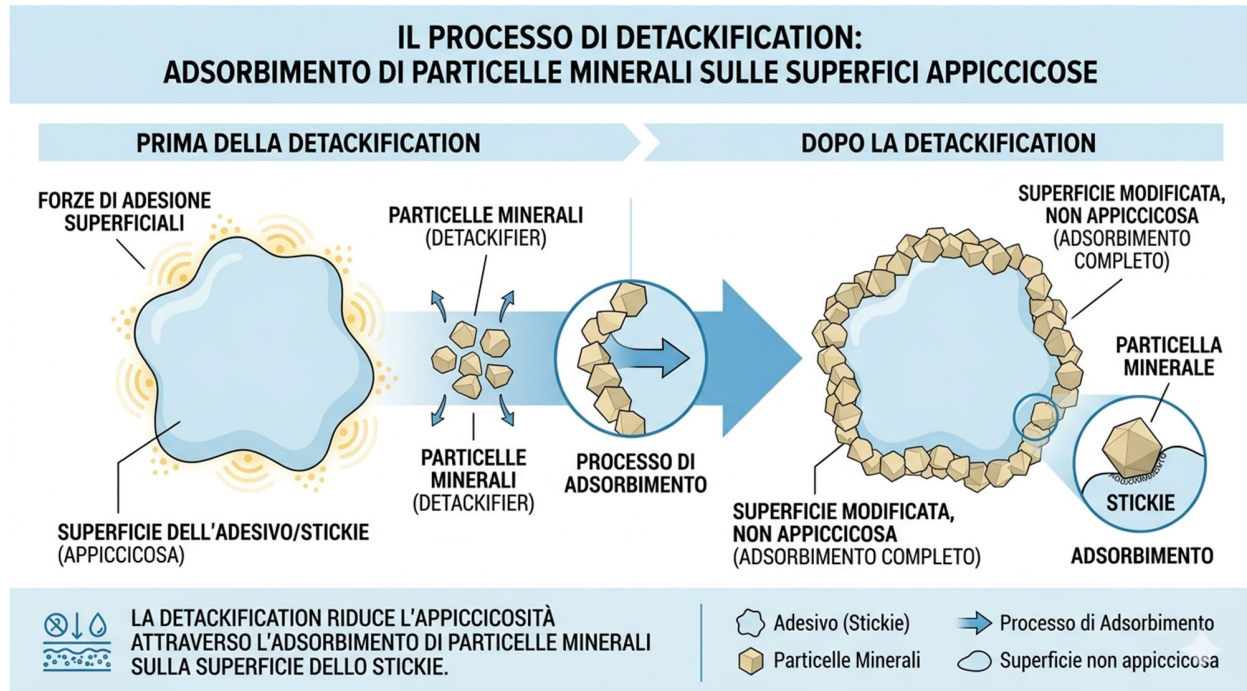
Non basta aggiungere un minerale qualsiasi; l'efficienza dipende da:

Area Superficiale: più il minerale è fine, maggiore è la superficie disponibile per coprire gli stickies.

Dosaggio: un difetto di minerale lascia zone "nude" e appiccicose; un eccesso può causare depositi minerali o influenzare negativamente la resistenza della carta.

Punto di aggiunta: il minerale deve essere inserito dove la turbolenza favorisce l'urto tra la particella minerale e lo stickie, solitamente prima delle pompe di miscelazione.

Nota Tecnica: mentre il talco agisce principalmente per adsorbimento fisico grazie alla sua natura lamellare e idrofobica, la bentonite agisce spesso in combinazione con polimeri fissativi, creando micro-flocchi che intrappolano i contaminanti.



13. EVOLUZIONE DELLE MATERIE PRIME OCC

Il mercato italiano, pur essendo il secondo in Europa per riciclo dopo la Germania, sta affrontando un calo nella resa della fibra vergine recuperata.

- Inquinamento da Plastificati: l'aumento del packaging "ibrido" (accoppiati carta-plastica per e-commerce e food) ha portato a una crescita della frazione di scarto in pulper. Se dieci anni fa uno scarto del 3-5% era la norma, oggi molti impianti lavorano con punte del 10-12%.
- Micro-Stickies e Barriere: la vera sfida non sono più solo i macro-stickies (nastri adesivi, hot-melt), ma i micro-stickies colloidali derivanti da vernici barriera e adesivi sensibili alla pressione di nuova generazione, che sfuggono ai vagli standard.
- Contaminazione Estera: l'OCC importato (spesso dal Nord Europa o USA) tende ad avere una fibra più lunga e resistente, ma negli ultimi due anni abbiamo notato una maggiore variabilità dovuta alla riduzione dei cicli di vita della fibra stessa, che risulta più corta e fragile.

13.1 TREND NORMATIVI E DI MERCATO (2025-2026)

Con l'entrata in vigore del nuovo Regolamento UE sugli imballaggi (PPWR), lo scenario sta cambiando:

1. Design for Recycling: dal 2030, ogni imballaggio dovrà essere riciclabile "su scala". Questo sta spingendo i produttori di packaging a preferire film plastici separabili meccanicamente (come il sistema Sbucciapack) o coating idrosolubili.
2. Tracciabilità: in Italia, il consorzio Comieco sta implementando criteri di selezione sempre più rigidi per l'OCC da raccolta differenziata, penalizzando i carichi con eccessiva presenza di frazioni estranee (plastica, metalli).
3. Costi di Gestione: l'aumento degli scarti plastici nel macero sta diventando un onere economico insostenibile per molte cartiere, a causa dell'aumento dei costi di termovalorizzazione o discarica del "pulper waste".

[illegible]

Si nota un aumento significativo della contaminazione nel tempo. Mentre all’inizio i valori oscillavano tra 1.000 e 4.000, nelle rilevazioni più recenti la situazione è peggiorata. Si può notare un picco critico coincidente con l’ultimo dato rilevato (25 febbraio 2026) mostra un’impennata anomala a 10.275, il valore più alto di tutto il grafico.

14. CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI FINALI

L'analisi condotta e i dati raccolti presso l'impianto Smurfit Westrock di Verzuolo confermano che la gestione degli stickies non è un problema risolvibile con un singolo intervento, ma una sfida che richiede un approccio olistico e dinamico. L'evoluzione delle materie prime OCC, caratterizzate da un crescente contenuto di adesivi di nuova generazione e coating barriera, ha reso i sistemi di separazione meccanica necessari ma non più sufficienti.

Sintesi dei Risultati

- **Efficacia Meccanica:** sebbene lo screening a fessure fini (0.18 mm) rimuova la quasi totalità dei macro-stickies, l'analisi microscopica ha evidenziato come gli stickies secondari (colloidali) tendano ad accumularsi nel ciclo delle acque bianche (WW1), rischiando di creare depositi critici in seccheria.
- **Strategia Chimica:** il sistema microparticellare PAM/Bentonite si è dimostrato il più affidabile per la passivazione degli inquinanti. Il dosaggio della bentonite nelle torri di stoccaggio permette un tempo di contatto adeguato a "schermare" l'appiccicosità (detackification), mentre l'uso della PAM nel ciclo breve assicura il fissaggio dei micro-stickies sul feltro fibroso, impedendo il loro accumulo nel sistema.
- **Analisi dei Trend:** il picco di contaminazione rilevato il 25 febbraio 2026 (10.275 mm²/kg) rappresenta un segnale d'allarme che correla direttamente con il peggioramento qualitativo dell'OCC in ingresso e con la riduzione dei cicli di vita della fibra.

Sulla base delle prove effettuate e delle criticità rilevate, si consigliano le seguenti azioni:

1. **Monitoraggio Rigoroso del pH e della Temperatura:** poiché gli stickies diventano più deformabili e "estrudibili" con l'aumento della temperatura, è fondamentale mantenere il profilo termico nel pulper e nelle fasi di screening al di sotto dei livelli critici identificati, per evitare che i macro-stickies si trasformino in micro-stickies.
2. **Ottimizzazione del Dosaggio dei Fissativi:** evitare il sovradosaggio di coagulanti/fissativi (VCD). Un eccesso di carica positiva nel sistema porterebbe all'inversione del potenziale Zeta, rendendo inefficiente la bentonite e causando depositi chimici sui feltri pressa.
3. **Controllo della Torbidità:** utilizzare il dato della torbidità come indicatore preventivo. Un aumento repentino della torbidità nelle acque di sottotela deve far scattare un controllo immediato sui dosaggi chimici, prima che il fenomeno sfoci in rotture del foglio.

4. Gestione del Macero OCC: implementare una selezione più severa o un "blending" (miscelazione) delle partite di macero più contaminate con lotti di qualità superiore, per diluire il carico di inquinanti in ingresso ed evitare i picchi anomali osservati nei dati di febbraio 2026.
5. Audit dei Punti di Dosaggio: si raccomanda di mantenere il dosaggio della PAM in aspirazione tina di miscela, poiché lo spostamento alla fan pump, seppur migliorativo per la ritenzione delle ceneri, ha dimostrato di indebolire il fissaggio degli stickies, esponendo la macchina a maggiori rischi di sporcamento.

In conclusione, la sostenibilità economica e operativa della produzione di carta da imballaggio a Verzuolo dipenderà sempre più dalla capacità di neutralizzare chimicamente ciò che la meccanica non può più catturare, trasformando un potenziale scarto (lo stickies) in una componente inerte e stabile all'interno della struttura del foglio.

15. BIBLIOGRAFIA E RINGRAZIAMENTI

Bibliografia e fonti:

- **Smurfit Westrock** (2026). Dati di processo e analisi interne – stabilimento di Verzuolo.
- **Kemira** (2025–2026). Report tecnici su sistemi di fissazione e controllo stickies.
- **Nalco** (2025-2026). Documentazione e report per l'analisi microscopica dei diversi tipi di stickies.
- **Solenis e Mare**. Documentazione tecnica su additivi per wet-end.

Un ringraziamento particolare va all'azienda Smurfit Westrock, e in particolare allo stabilimento di Verzuolo, per aver messo a disposizione dati di processo, supporto tecnico e un contesto industriale reale di grande valore per l'analisi svolta.

Desidero inoltre ringraziare le aziende Solenis, Mare Group e Kemira per il contributo tecnico e il supporto fornito. Un ringraziamento particolare va a Elia Allemano di Kemira per la disponibilità, la competenza e il confronto diretto, che hanno arricchito significativamente la comprensione delle strategie chimiche applicate al controllo degli stickies.

Un sentito ringraziamento va inoltre al tecnico industriale Mickael Courouble di Nalco (Ecolab Company) per il contributo nelle analisi microscopiche e per il supporto tecnico fornito.

Un ringraziamento speciale al mio tutor Giacomo Gregori, figura fondamentale per lo sviluppo di questo progetto: la sua guida, la disponibilità e il supporto costante hanno rappresentato un punto di riferimento essenziale durante tutto il percorso di apprendimento.

Un ultimo ringraziamento va anche ai docenti e ai tutor della scuola grafica e cartaria del San Zeno a Verona che hanno guidato lo sviluppo della tesina, fornendo strumenti teorici fondamentali nell'ambito della chimica dei polimeri e dei processi industriali.