

XXII corso di Tecnologia per Tecnici Cartari
edizione 2015/2016

Impianto di disinchiostroazione: criteri di progettazione

di Vannelli Massimo



**Scuola Interregionale
di tecnologia per tecnici Cartari**

Istituto Salesiano «San Zeno» - Via Don Minzoni, 50 - 37138 Verona
www.sanzeno.org - scuolacartaria@sanzeno.org

INDICE

- 1 - IMPIANTO DI DISINCHIOSTRAZIONE**
- 2 - INQUINANTI NELLE MATERIE PRIME
E OBIETTIVI DELL'IMPIANTO DI DISINCHIOSTRAZIONE**
- 3 - MODULI DI PROCESSO**
 - 3.1 - Pulping e pre-cleaning
 - 3.2 - High consistency cleaning
 - 3.3 - Coarse screening
 - 3.4 - Fine slot screening
 - 3.5 - Flotation
 - 3.6 - Washing. Heavy weight cleaning
 - 3.7 - Heavy weight cleaning.
 - 3.8 - Light weight cleaning.
 - 3.9 - Dispersion (Bleaching).
- 4 - PARAMETRI QUALITATIVI**
- 5 - IMPIANTO DI DISINCHIOSTRAZIONE PER CARTA GRAFICA**
- 6 - CICLO ACQUE.**
- 7 - DAF O MICROFLOTTATORE**
- 8 - IMPIANTO DI DISINCHIOSTRAZIONE PER CARTA TISSUE**
- 9 - IMPIANTO DI DISINCHIOSTRAZIONE PER CARTA GIORNALE.**
- 10 - CENTRO DI RICERCA**
- 11 - BIBLIOGRAFIA**

1. IMPIANTO DI DISINCHIOSTRAZIONE: CRITERI DI PROGETTAZIONE

Parlare di disinchiostrazione vuol dire affrontare un argomento complesso e ricco di problematiche: sommariamente la disinchiostrazione può essere definita come un processo industriale in cui una materia prima, in questo caso la cartaccia di recupero più o meno bianca e più o meno stampata, viene trasformata in un prodotto finito: la pasta disinchiostrata (DIP = deinked pulp). Questo processo viene realizzato sottoponendo la cartaccia a più trattamenti di tipo meccanico e chimico; il numero, la sequenza, la tipologia di questi trattamenti dipendono dalle caratteristiche della materia prima e da quelle richieste per il prodotto finito. La conoscenza del tipo di materia prima da utilizzare e delle caratteristiche qualitative della pasta disinchiostrata che si vuole ottenere sono i requisiti indispensabili per la definizione dell'impianto di disinchiostrazione.

2. INQUINANTI NELLE MATERIE PRIME E OBIETTIVI DELL'IMPIANTO DI DISINCHIOSTRAZIONE

Per individuare i vari tipi di cartaccia di recupero sono state fatte delle classificazioni; al testo è stata allegata quella europea; è da tener presente che esiste anche una classificazione americana. Bisogna subito dire che nella cartaccia da disinchiostare, anche se selezionata, sono sempre presenti materiali estranei quali punti metallici, fermagli, vetro, sabbia, plastiche, corde, fibre sintetiche, legno eccetera, che possono essere definiti come contaminanti solidi. Una particolare classe di contaminanti sono quelli di tipo colloso che derivano da nastri adesivi, peci, resine, dorsi collati, elastici, agglomerati di patine ecc.; queste impurità, più o meno deformabili in funzione della temperatura, possono riagglomerarsi nelle varie fasi del processo e sono di difficile separazione in quanto il loro peso specifico è variabile da 0,8 a 1,3 kg/dm³; inoltre, in macchina continua, provocano seri disturbi imbrattando tele e feltri, creando depositi e rotture del foglio. La loro azione è così negativa che si è sentita la necessità di classificarli a parte: usando un termine inglese, sono classificati come stickies e suddivisi in micro e macro stickies.

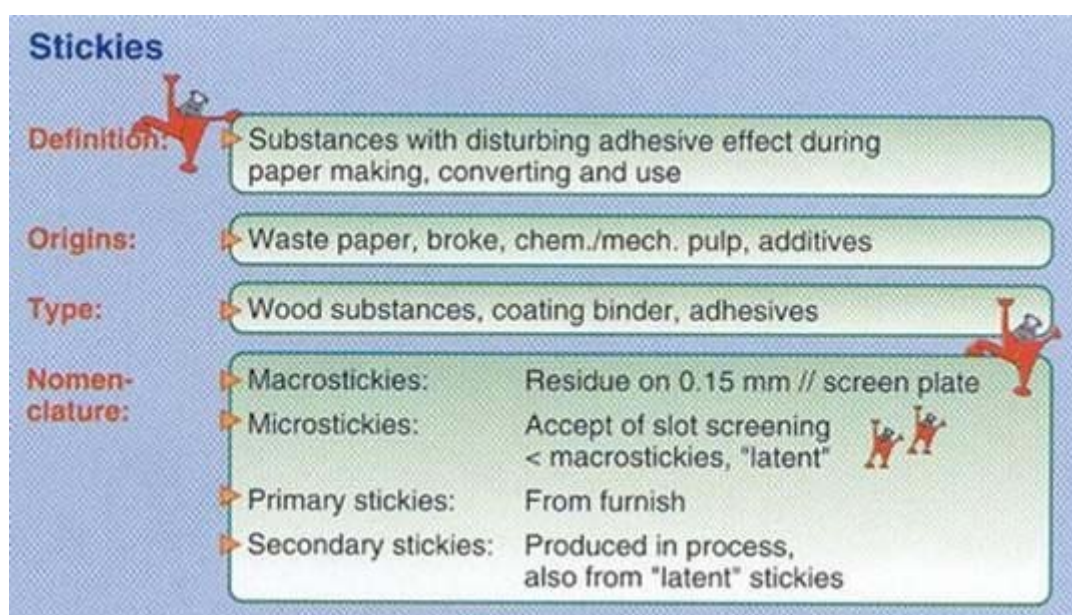


Fig. 1. Stickies.

Un altro contaminante deformabile è il polistirolo che purtroppo si trova frequentemente nei cartoni degli imballaggi. Fra i contaminanti non possono essere dimenticati gli inchiostri e con essi le sostanze che li compongono cioè pigmenti, oli minerali, oli vegetali, resine, additivi chimici ecc. Oltre agli inchiostri ordinari, nella cartaccia si trovano lacche, vernici,

microcapsule, particelle di toner eccetera; un cenno particolare merita l'inchiostro usato in flessografia che è un inchiostro molto fluido con un comportamento idrofilo, a differenza degli altri tipi di inchiostro che invece sono idrofobi. Sostanze indesiderate sono anche tipi particolari di carta come quella oleata, paraffinata, verniciata al cromo, oppure accoppiata con plastica o alluminio; per determinati prodotti come carte bianche di qualità o per la carta tissue, anche le cariche possono costituire dei corpi estranei da eliminare dall'impasto.

In funzione del tipo e delle esigenze qualitative del prodotto finito, la presenza di tutti questi contaminanti deve essere eliminata o, perlomeno, ridotta. Obiettivo, pertanto, di un impianto di disinchiostrazione non è solo quello di eliminare gli inchiostri di stampa e il raggiungimento di un determinato grado di bianco: la pasta disinchiostata alla fine del processo deve rispettare anche altri requisiti come, ad esempio, riduzione di stickies e punti di sporco, controllo del contenuto in ceneri, grado Shopper-Riegler, lunghezza di rottura, ecc. In altri termini l'impianto di disinchiostrazione avrà come obiettivo il raggiungimento di tutti i parametri richiesti per garantire la qualità del prodotto finale.

3. MODULI DI PROCESSO

In base al tipo di materia prima e al tipo di prodotto finale che si vuole ottenere la cartaccia deve essere sottoposta a più operazioni specifiche, ognuna delle quali viene realizzata per mezzo di appositi macchinari.

Un impianto di disinchiostrazione può quindi essere costituito da:

- pulper con relativi sistemi di pulizia,
- epuratori centrifughi a pasta densa,
- epuratori con cestelli a fori e fessure a media densità,
- epuratori con cestelli a fessure a bassa densità,
- epuratori centrifughi a pasta diluita (cleaners) sia per impurità pesanti che leggere,
- celle di flottazione,
- addensatori,
- dispersori,
- torri di imbianchimento,
- macchine di lavaggio,
- microflottatori.

In realtà, quando si parla, per esempio, di pulper si fa riferimento ad un sistema costituito da più macchine coordinate tra loro:

- nastri di carico,
- pulper vero e proprio,
- pompa di scarico,
- macchina di pulizia della pasta scaricata dal pulper,
- tamburo assortitore degli scarti,
- compattatore degli scarti.

Analogamente il dispersore è collegato con:

- coclee di sminuzzamento,
- coclee di trasporto,
- coclea di riscaldamento,
- coclea di introduzione,
- dispersore vero e proprio.

Si preferisce pertanto parlare, piuttosto che di macchinari, di moduli di processo che hanno una determinata funzione come il pulperaggio, la dispersione ecc. Per comodità, in letteratura,

viene normalmente usato il corrispondente termine inglese, oramai comunemente entrato nel linguaggio cartario.

Saranno, quindi, considerati i seguenti moduli di processo:

- pulperaggio (pulping + pre-cleaning),
- epurazione centrifuga ad alta densità (high density cleaning),
- epurazione con cestello a fori e fessure a media densità (coarse screening),
- epurazione con cestello a fessure a bassa densità (fine slot screening),
- flottazione (flotation),
- lavaggio (washing),
- cleaners per impurità pesanti (heavy weight cleaning),
- cleaners per impurità leggere (light weight cleaning),
- addensamento (thickening),
- dispersione (dispersion),
- imbianchimento (bleaching).

Integrando fra loro questi “moduli di processo”, in funzione del tipo di materia prima e in funzione delle caratteristiche del prodotto finito, viene realizzato l’impianto di disinchiostrazione che, pertanto, potrà essere di volta in volta diverso. Si ritiene opportuno fare una descrizione sommaria dei suddetti “moduli di processo”.

3.1 PULPING E PRE-CLEANING

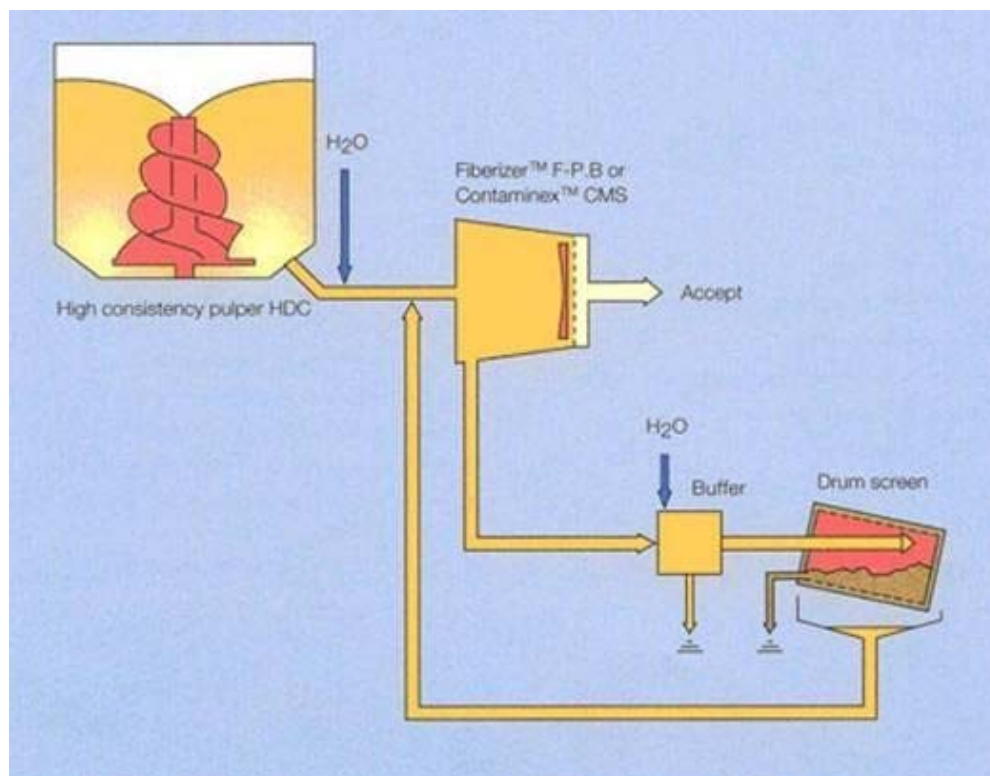
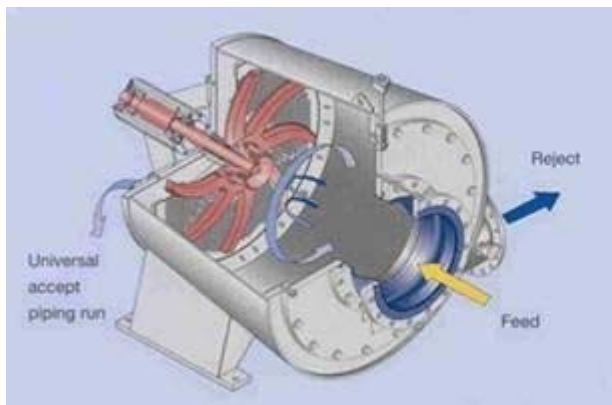


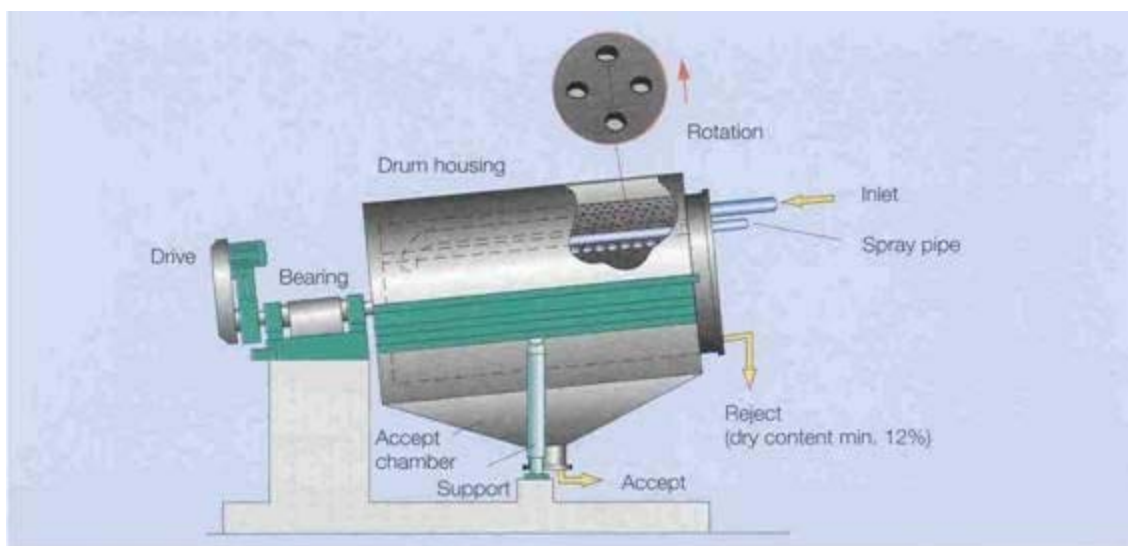
Fig. 2. Pulping.

Negli impianti di disinchiostrazione viene normalmente usato il pulper discontinuo ad alta densità ($d = \text{circa } 15\%$). Con il pulper discontinuo si ha il vantaggio di poter determinare in modo esatto il tempo di permanenza dell'impasto nel pulper e quindi, (il pH), la consistenza e la temperatura di lavoro, il dosaggio degli additivi chimici. Con l'alta densità si ha inoltre il vantaggio di aprire le fibre dell'impasto con basse forze di taglio senza sminuzzare le impurità presenti. La diminuzione delle dimensioni dei contaminanti ed in particolare di plastiche, polistiroli e stickies rende infatti molto più difficile la loro separazione nelle fasi di pulizia successive. Dopo lo scarico dal pulper l'impasto viene fatto passare attraverso una macchina di pulizia (Fiberizer, Contaminex, ecc.), equipaggiata con una piastra a fori da (4)-6-8mm; le impurità grossolane vengono scartate e inviate prima ad un tamburo di lavaggio in modo da recuperare le fibre e dopo ad un compattatore che drenando l'acqua porta lo scarto ad una consistenza del 50- 60%. Nella figura seguente è rappresentato un Fiberizer Voith utilizzato come macchina di pre-cleaning allo scarico del pulper ad alta densità, e un DrumScreen per il lavaggio degli scarti prima del loro invio ad un compattatore.



Technical data			
Size		F3-P.B*	F4-P.B*
Inlet SC	[%]	5-6	5-6
Installed power	[kW]	160	200
Effective content	[m ³]	1.8	2.3
Screen hole diameter	[mm]	4-12	4-12
Max. throughput	[l/min]	13000**	18000**

Fig. 3 - Fiberizer F-P.B.



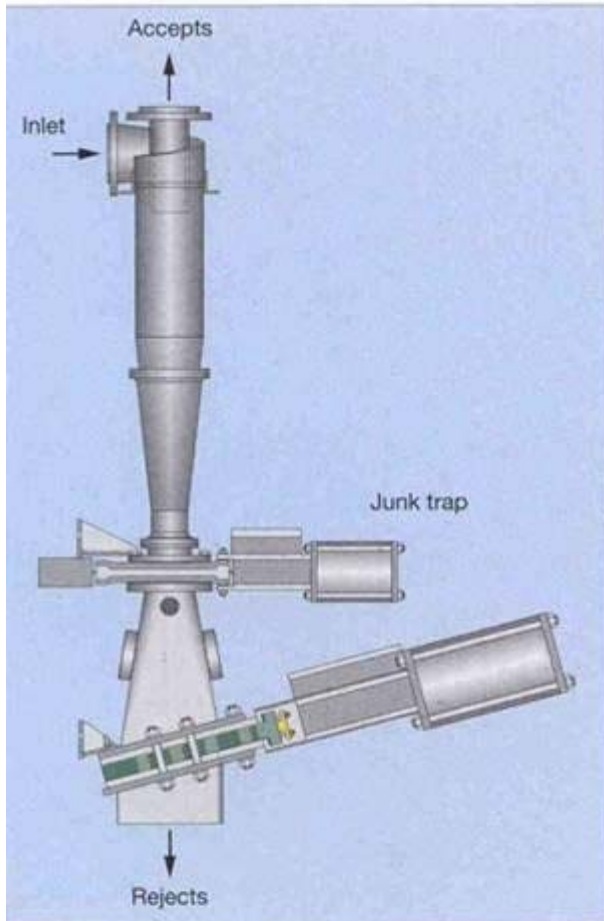
Technical data

Size	Inlet SC [%]	inst. power [kW]	Screen hole Ø [mm]	Max. throughput [l/min]	Drum Ø [m]	Length [m]
STR2F	2	5.5	16	3480	1.25	2.0
STR5F	2	5.5	16	5820	1.6	2.8
STR7F	2	11	16	9000	2.0	3.5
STR9R	2	15	16	12300	2.5	3.8

Fig. 3 bis - Drum Screen STR.F.

3.2 HIGH CONSISTENCY CLEANING

High Consistency Cleaner HCC170 / HCC300



Applications

- Removal of specifically heavy contraries from stock suspensions in chemical pulp, mechanical pulp and recovered paper preparation lines at consistencies up to 6%

Features

High efficiency operation:

- Rotor-free design for low specific energy consumption
- Optimum wear protection for downstream machines and components through highly effective removal of sand, glass fragments, paper clips, staples etc.
- Ceramic cone protects against wear
- Back flushing and periodic rejects dumping via junk trap minimizes fibre losses

High operational reliability:

- Simple rotor-free design
- Counterflow principle (no disturbing piping in the separation zone)

Technical data

Size		HCC170-83	HCC170-95	HCC300-107	HCC300-115	HCC300-152
Inlet stock consistency max.	%	6				
Permissible operating pressure max.	bar	4				
Permissible operating temperature max.	°C	90				
Inlet flow rate	l/min	700-1300	1100-1700	2000-2400	2300-3200	3300-4500
Pressure differential inlet - accepts	bar	1 - 2				

Fig. 4 - High consistency cleaner.

Le impurità pesanti, cioè di peso specifico superiore a quello delle fibre che normalmente si assume pari a 1, vengono separate sfruttando l'effetto della forza centrifuga. Data la densità

di lavoro ($d = 4-4,5\%$) si ottiene una buona separazione solo delle particelle di grosse dimensioni e/o di alto peso specifico.

3.3 COARSE SCREENING

È un'epurazione fatta ad una densità del 2-3% mediante macchine con cestelli a fori o fessure: si ha una grande varietà di scelta sia per i cestelli (lisci, profilati, a barre) sia per i rotori (a lobi, a nocche, a palette eccetera), che possono essere combinati fra loro, in funzione dell'effetto di pulizia che si vuole ottenere.



Fig. 5 - Screening: baskets and rotors.

Diverse sono anche le possibilità di funzionamento degli stadi di pulizia. L'accettato dei singoli stadi può essere mandato subito avanti (forward), oppure può esser mandato in avanti solo l'accettato del primo stadio (full cascade), oppure si possono scegliere combinazioni intermedie, come rappresentato nella figura seguente.

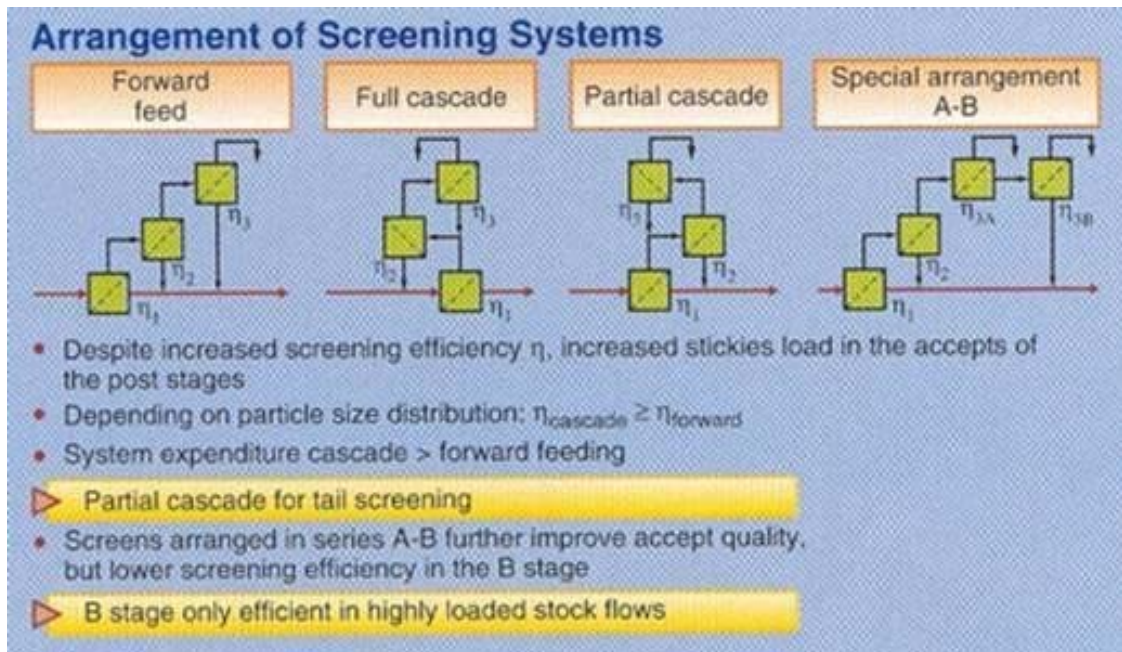


Fig. 6 - Screening arrangement.

3.4 FINE SLOT SCREENING

Viene effettuato alla densità di circa l'1% ed è particolarmente efficace nella rimozione dei macro stickies. Vengono utilizzati cestelli a barre con fessure fino a 0,15mm ed angolo α di inclinazione dei piani di turbolenza di 12 gradi.

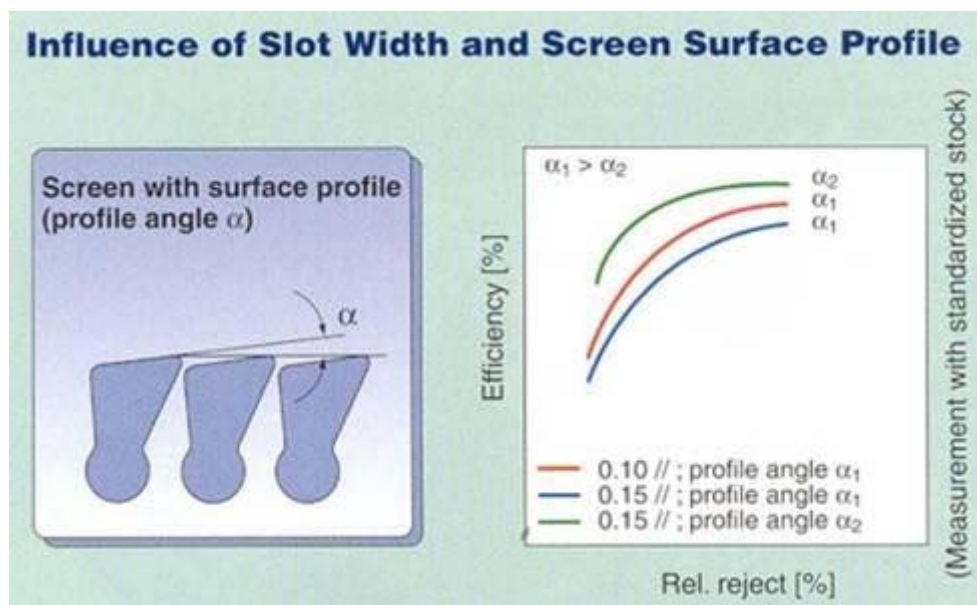


Fig. 7 - Slot Width and Profiles.

A questo proposito, si fa presente che non possono essere paragonati fra loro epuratori di fornitori diversi facendo riferimento solo alla larghezza delle fessure. Per valutare l'efficienza di pulizia dell'epuratore devono essere considerati anche:

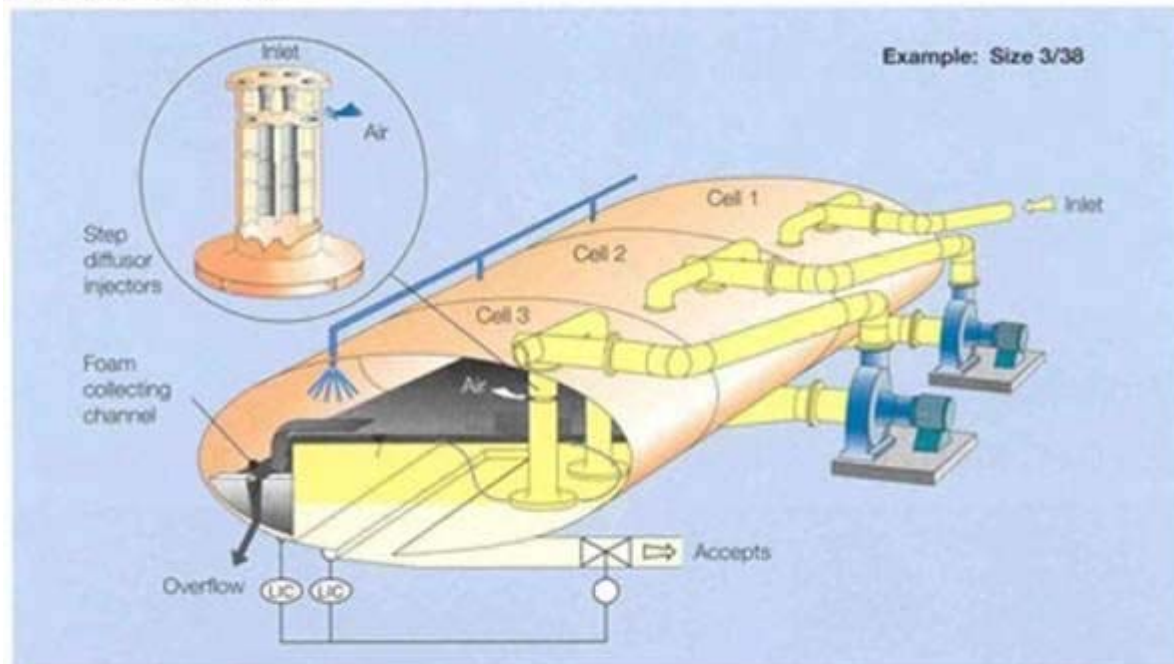
- angolo di inclinazione (α) del piano di turbolenza,
- tipo di rotore,
- numero di giri,
- forma del cassone.

Nella figura 7 si può inoltre osservare che con la stessa larghezza di fessura, all'aumentare dell'angolo α , l'efficienza di pulizia diminuisce. In altre parole, con fessure più strette ma con angolo α maggiore, si può ottenere un impasto più sporco di quello accettato da fessure più larghe ma con angolo α più piccolo. Per quanto riguarda la disposizione degli screen si rimanda alla figura 6.

3.5 FLOTATION

Viene effettuata alla densità dell'1-1,3% in svariati tipi di celle. Scopo della flottazione è la rimozione degli inchiostri e l'aumento del grado di bianco, ma contemporaneamente si ottiene anche una riduzione degli stickies e dei punti di sporco.

EcoCell ECC



Applications

- Removal of hydrophobic contaminants (printing inks, stickies, etc.) from secondary fibre stocks

Features

- Simple level control, high operational reliability and wide range of production due to interconnecting tanks
- Internally located aeration element (advantageous for closed process air circuit), smallest cross section 32 mm in diameter
- Removal of printing ink particles in a wide size range (approx. 5-500 μm)
- 2-stage system (primary and secondary stage) ensuring maximum elimination of disturbing components at minimum fibre loss

Technical data

Size ⁽¹⁾	1/38	2/38	3/38	4/38	5/41	6/44	8/44
Accepts [t/24h] quantity approx.	80	160	240	320	520	750	1000
Inlet pressure [Pa]	90						
Spec. power consumption [kwh/t] approx. ⁽²⁾	24						

•1) 3/38 = 3 Number of aeration elements per cell, length of a single cell limit (m)
38 Horizontal ellipse diameter of the cell (dm)

•2) Standard plant 5 primary cells / 1 secondary cell for flotation A.
Number of primary and secondary cells (3-6) depending on raw material, production capacity and technological result required

Fig. 8 - Flotation Cells (Ecocell ECC - Voith).

In figura 8 sono rappresentate le celle Voith con l'ultimo tipo di iniettore: sfruttando l'effetto Venturi, l'aria necessaria alla formazione delle bolle viene aspirata dal fluido stesso; la

conformazione a gradini degli iniettori è studiata per avere un ampio campo dimensionale delle bolle d'aria. Il controllo del livello nella vasca delle celle e nel canale delle schiume permette di regolare la quantità dello scarico; in impianti dove si vuole ridurre la perdita di fibre vengono previste delle celle secondarie per il trattamento della schiuma delle primarie.

Le variabili in gioco nelle celle di flottazione sono:

- tempo di permanenza dell'impasto nella cella;
- turbolenza idraulica necessaria a provocare la collisione fra bolle d'aria e particelle di inchiostro;
- campo dimensionale delle bolle d'aria.

Le bolle d'aria devono avere dimensioni tali da essere in grado di trascinare in superficie particelle di inchiostro comprese fra 5 e 500 micron.

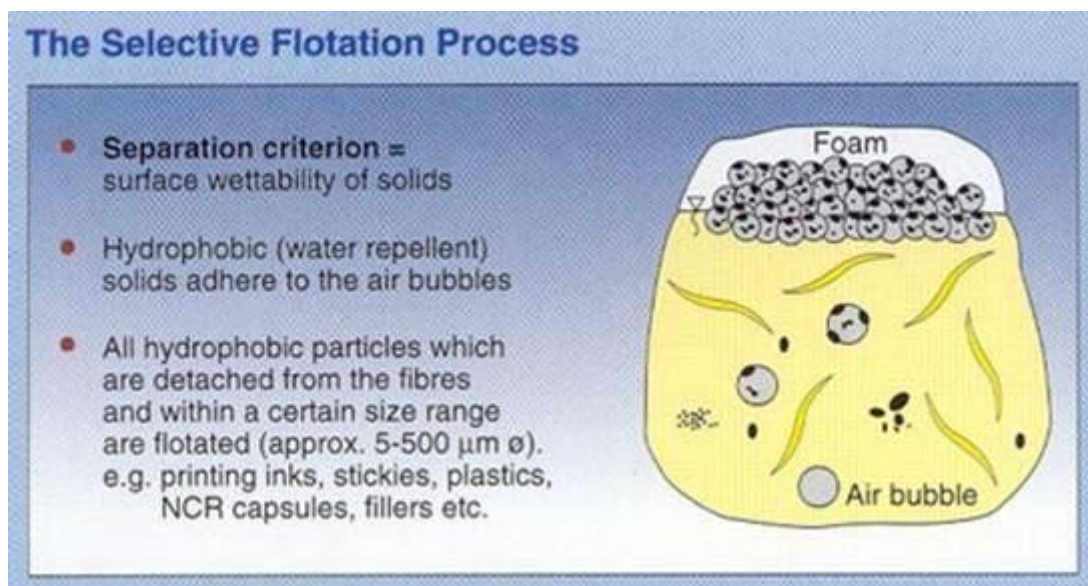


Fig. 9 - Flotation Process.

Con l'aiuto delle bolle d'aria gli inchiostri vengono portati in superficie e rimossi con le schiume. Per quanto riguarda il tempo di permanenza si è visto che dopo 12 minuti non si ottiene più alcun incremento del grado di bianco (ma solo una maggiore perdita in fibra e ceneri "minor resa") per cui diventa inutile (aumentare il numero di celle in riferimento a quelle in serie.)

Nella cella di flottazione viene sfruttato il comportamento idrofilo delle fibre ed il comportamento idrofobo degli inchiostri (fanno eccezione gli inchiostri flessografici che sono idrofili). Per la rimozione degli inchiostri flessografici, se presenti nell'impasto in percentuale limitata, si ricorre ad un modulo di lavaggio. Per valutare l'efficienza della flottazione molte

cartiere utilizzano una cella di prova in cui viene fatto passare un campione dell'impasto; dopo 12 minuti si raggiunge la flottabilità limite (o massima). Dalla comparazione del grado di bianco ottenuto con la cella di prova e quello dell'impasto all'uscita delle celle industriali, si può capire come queste ultime stanno funzionando.

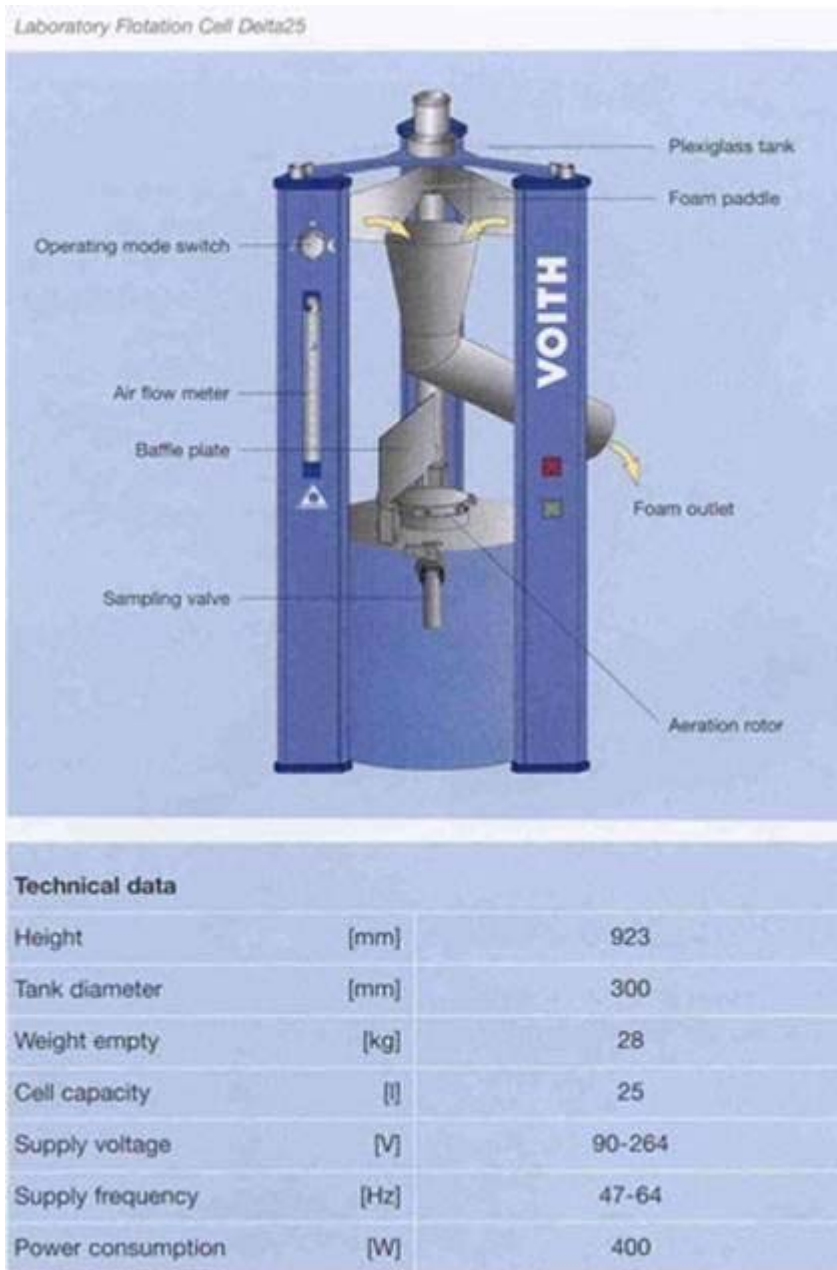
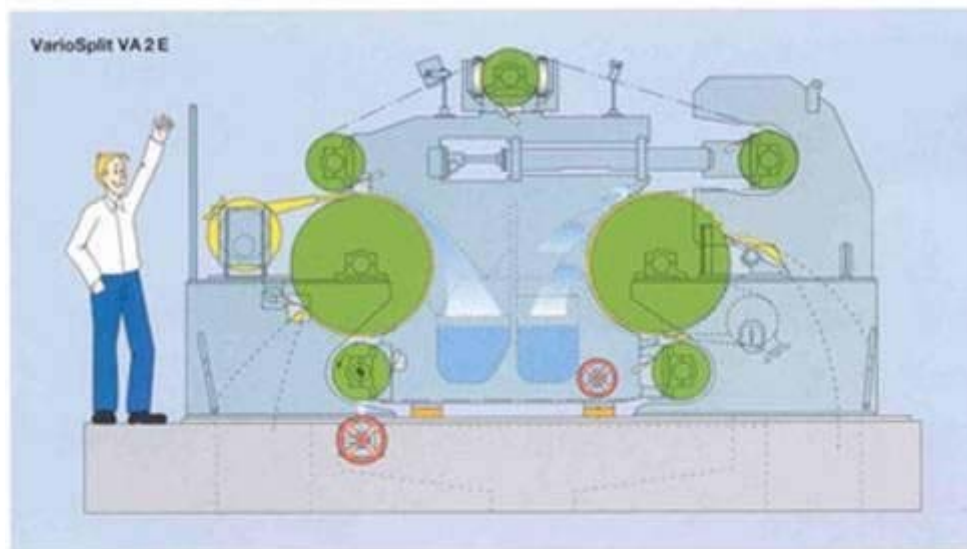


Fig. 10 - Cella di prova.

3.6 WASHING

VarioSplit VA1 E, VA2 E



Technical data

Size		VA1E-2500	VA1E-3500	VA2E-2500	VA2E-3500	VA2E-4500
Working width	m	2.5	3.5	2 x 2.5	2 x 3.5	2 x 4.5
Inlet consistency	%	0.7 - 1.5		0.7 - 1.5		
Outlet consistency	%	6.0 - 10.0		6.0 - 10.0		
Machine speed	m/min	350 - 1000		350 - 1000		
Max. per stock distributor throughput	l/min	10 000	14 000	10 000	14 000	18 000
Installed power	kW	45	55	110	132	160

Applications

- Stock preparation
- Removal of ash, inactive fines and printing inks

Features

- Compact machine design
- Good accessibility by outer rolls
- Production and fines removal efficiency adjustable via basis weight
- High ash removal performance
- Cantilevered design for easy wire change

Fig. 11 - Washer (Variosplit VA-Voith).

Il lavaggio viene effettuato ad una consistenza dello 0,6-0,8%, con macchine tipo il Vario Split. Il getto di pasta viene mandato fra un cilindro pieno ed una tela; per centrifugazione cariche e fini vengono separati dalle fibre. Scopo principale del lavaggio è la riduzione delle cariche, ma non si può evitare che, assieme a queste, se ne vada anche una quantità, più o meno equivalente, di fini (frammenti di fibre). Cariche e fini si trovano quindi nel filtrato che viene raccolto e pompato ad un microflottatore e da qui evacuato dall'impianto di disinchiostrazione. Il pannello di fibre (accettato) viene staccato con delle raschie dal cilindro pieno e raccolto con coclee alla consistenza di circa il 9%.

3.7 HEAVY WEIGHT CLEANING



Fig. 12 - Heavy Weight Cleaning.

La densità ottimale di lavoro per cleaners pesanti varia tra lo 0,8 e l'1%. In figura12 è raffigurato un bancale di cleaners Voith con il sistema di iniezione acqua in corrispondenza del cono di scarico. Si tratta di una recente innovazione Voith che permette di aumentare la consistenza dello scarto, diminuendo al contempo la perdita in fibra.

3.8 LIGHT WEIGHT CLEANING



Fig. 13 - Light Weight Cleaning (Coreclean- Voith).

I cleaners per impurità leggere funzionano ad una densità ottimale dello 0,6-0,8% e sono dedicati all'evacuazione di impurità leggere, cioè plastiche, polistiroli e stickies. Per effetto della forza centrifuga le impurità leggere si raccolgono al centro del vortice che viene trattato come scarto.

3.9 DISPERSION

La dispersione è sempre preceduta da un addensamento che può essere realizzato con pressa a doppia tela e/o coclee di spremitura o combinazione di coclee e addensatori (a tamburo, a dischi eccetera). La densità di lavoro varia dal 25 al 35%, la temperatura nella maggior parte degli impianti arriva ad un massimo di 95 °C; solo negli impianti pressurizzati si arriva a temperature fino a 130°C, efficaci dal punto di vista della dispersione, ma che provocano la cristallizzazione delle fibre con conseguente perdita delle proprietà meccaniche. Di base esistono due tipi di dispersore: con rotore a dischi o con rotore a “pioli”, come illustrato nella figura sottostante.

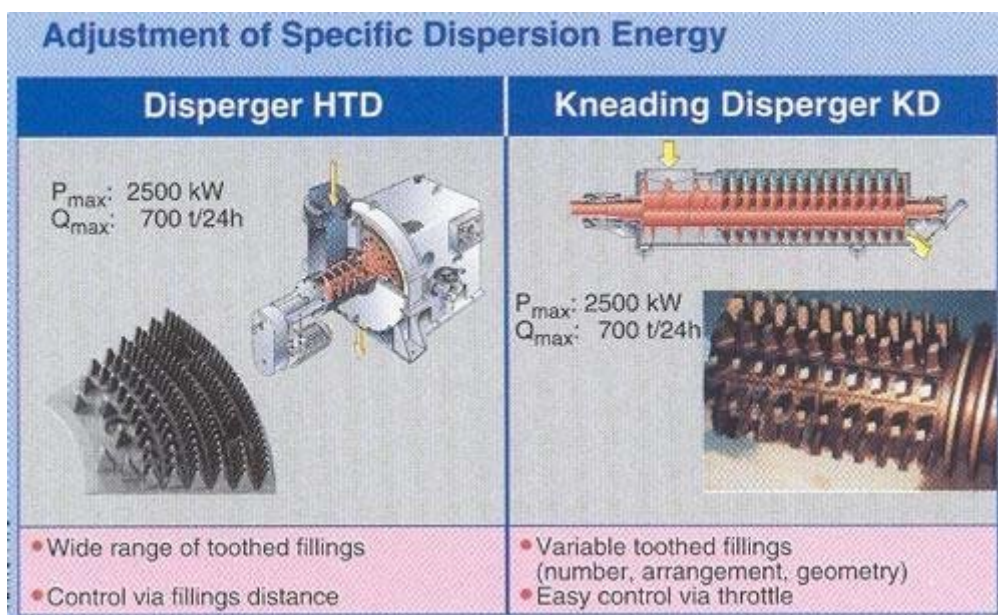


Fig. 14 - Disc and Kneading Dispergers.

I due tipi di dispersori sono più o meno equivalenti, in funzione dell'effetto desiderato viene privilegiato l'uno o l'altro tipo.

Machine Recommendations for the Dispersion Subsystem				
Applications	Furnish		Recommended machines	Remarks
Newsprint, Board topline	white	wood-cont., wood-free	Disperger	stickies 
Tissue	white	wood-cont., wood-free	Disperger	stickies
			Kneading Disperger	bulk
SC, LWC	white	wood-cont.	Disperger + Disperger	strength properties stickies
Market DIP	white	wood-free	Disperger + Kneading Disperger	stickies + gentle fibre treatment
Topliner	brown	—	Disperger	optical and strength properties, stickies 
Board filler	brown	—	Kneading Disperger	max. bulk
Coated broke	white	—	Kneading Disperger	gentle fibre treatment at low temperatures

Fig. 15 - Dispersion Table.

Dalla tabella si possono individuare dei criteri di scelta del disperger a denti o a (pioli). Nella dispersione il parametro di riferimento è l'energia specifica scaricata sull'impasto (kW/t). Obiettivi della dispersione sono:

- dispersione dei punti residui di sporco e degli stickies, con aumento della loro flottabilità;
- distacco degli inchiostri dalle fibre;
- riduzione dei frammenti di patina;
- riduzione del numero dei microorganismi;
- distruzione della catalasi;
- introduzione e mescolazione degli agenti chimici per il bleaching.

Nel caso in cui l'aumento del grado di bianco ottenuto nelle celle di flottazione non sia considerato sufficiente, si ricorre a dei processi di sbianca veri e propri in torri di imbianchimento.

L'aumento del grado di bianco delle fibre viene realizzato principalmente con due tipi di processo:

- con agenti chimici ossidanti (H_2O_2 - acqua ossigenata, in presenza di silicato di sodio Na_2SiO_3);
- con agenti chimici riducenti ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ - iposolfito o idrosolfito di sodio, detto anche ditionite) oppure $\text{HO}_2\text{-S-CHN-NH}_2\text{-FAS}$ (acido formamidin-sulfinico).

L'imbianchimento con agenti chimici a base di cloro è praticamente sparito nei paesi del centro Europa per le problematiche ambientali che esso generava.

L'imbianchimento con H_2O_2 privilegia l'aumento del grado di bianco come conseguenza dell'aumento della riflessione delle fibre (decolorazione), mentre l'imbianchimento con idrosolfito e FAS privilegia l'aumento del grado di bianco come conseguenza della aggressione ed allontanamento di agenti coloranti presenti sulla fibra (come ad esempio tracce di lignina residua). Assieme agli agenti chimici menzionati vengono anche usati agenti chelanti e stabilizzanti.

Favourable Bleaching Parameters						
	Consistency [%]	Machines	Dosage [%]	Temp. [°C]	pH [/]	Retent. time [min]
• Peroxide	~ 30	Disperger or Kneading- Disperger + 	1 - 2	60-95	10-11	30-120
• Hydro-sulfite	10-15	Medium consistency + pump +  or 	0.5-1.0	60-95	6.5-7.5	15-60
• FAS	12-15 (30)	Medium consistency pump or +  Disperger; Kneading-Disperger	0.3-0.7	80-95 (120)	10-10.5	15-60

Fig. 16

Dalla figura 16 si può fare una lettura dei parametri di funzionamento dei due processi:

- consistenza,
- temperatura,
- pH,
- tempo di reazione.

Sono indicati anche i dosaggi abitualmente richiesti. A seconda del grado di bianco desiderato i due processi di imbianchimento possono essere utilizzati in sequenza; in questo caso è importante che i cicli di acqua fra i due stadi di imbianchimento siano separati, in modo da ridurre il consumo dei prodotti chimici, limitando reazioni indesiderate, correzioni di pH ecc. Nel processo di imbianchimento è importante distinguere fra cartaccia con e senza pasta legno; negli impasti contenenti pasta legno un elevato carico alcalino e un'alta temperatura portano ad una forte delignificazione, alto carico di COD e perdita del grado di bianco.

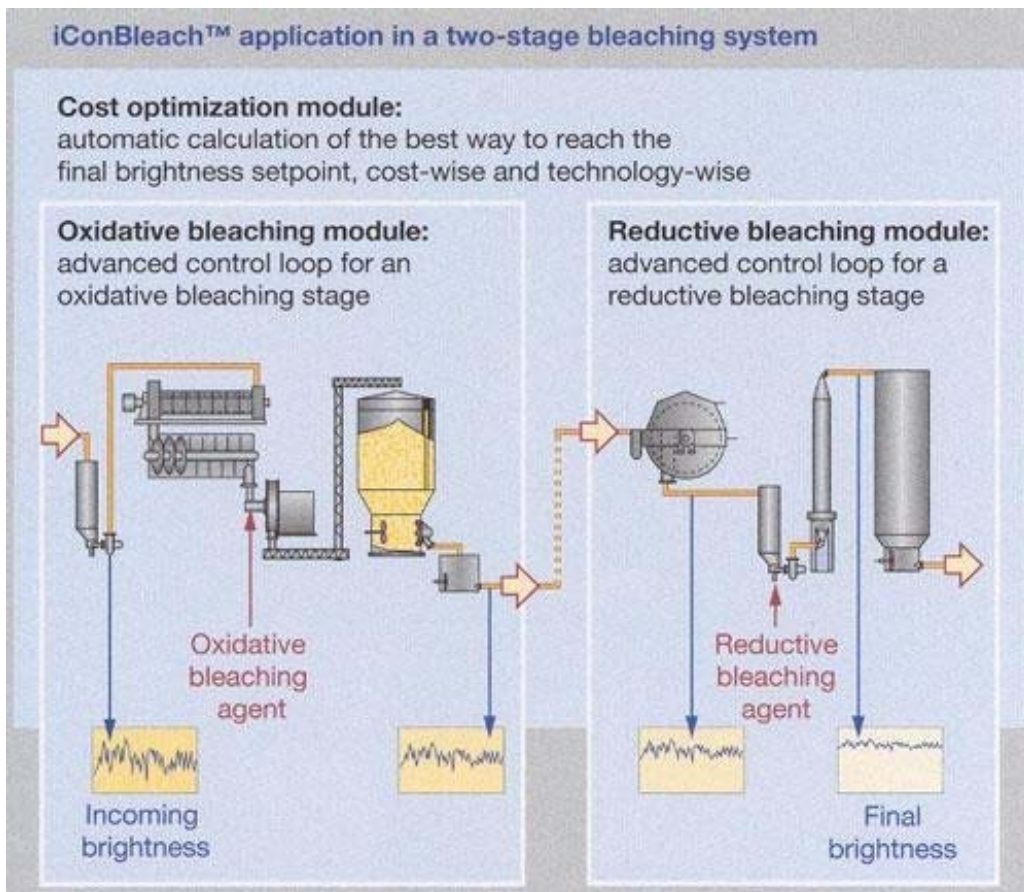


Fig. 17 - Torri di imbianchimento.

Dal punto di vista impiantistico si fa notare che le torri di imbianchimento sono diverse: mentre nel processo con agenti ossidanti l'alimentazione avviene dall'alto, nel processo con agenti riducenti l'alimentazione avviene dal basso, in modo da evitare contatto e reazioni indesiderate con l'ossigeno dell'aria. Per l'ottimizzazione del consumo di additivi chimici si utilizzano oggi misuratori in continuo del grado di bianco.

4. PARAMETRI QUALITATIVI

Si ritiene opportuno esaminare i parametri che permettono di fare una valutazione della qualità della materia prima e logicamente della qualità della pasta disinchiostata.

Per semplicità vengono qui tralasciati quei parametri legati alle caratteristiche meccaniche, più dipendenti dal tipo di cartaccia utilizzata, come:

- lunghezza di rottura (breaking length)
- lacerazione (tearing resistance)
- scoppio (burst),
- gradi ShopperRiegler (°SR) o grado di raffinazione (freeness)

Vengono, invece, presi in considerazione parametri come:

- grado di bianco (brightness),
- punti di sporco residui (dirt specks),
- impurità di tipo colloso (stickies)
- cariche (ash)

I valori presenti sul prodotto finito dipendono dal tipo di impianto di disinchiostazione realizzato.

A ognuno di questi parametri è associata una grandezza di misura; senza scendere nella metodologia dei diversi sistemi di misura adottati, si ricorda solo che:

- il grado di bianco viene misurato in gradi % ISO con lo strumento Elrepho 2000; la misura può essere fatta con o senza la presenza di radiazioni U.V. e, conseguentemente, si avranno valori diversi di lettura;
- i punti di sporco vengono misurati per mezzo di uno strumento chiamato DOT-Counter 2.0. Si tratta di uno scanner che totalizza il numero di punti di sporco presenti nelle 2 facce del foglio campione, li classifica secondo la grandezza e ne calcola l'area totale; in questo caso, la grandezza di misura è usualmente espressa in mm^2/m^2 o, rapportata alla massa, in mm^2/kg ;
- per (la separazione degli) stickies (si usa il metodo Sommerville con piastra a fessure da 150 micron) mentre il sistema di misura è analogo (allo sporco) ed anche la grandezza di misura è usualmente espressa in mm^2/kg ;
- la determinazione del contenuto % in ceneri è fatta tramite (muffola) a 575°C (o a 825°C).

Questi sono i sistemi di misura più generalmente adottati anche se bisogna ricordare che si attende ancora una standardizzazione che permetta di comparare i risultati.

Modules	Technological parameters	Brightness	Dirt specks	Stickies	Ash
Screening		—	○	●	—
Flotation		●	●	○	●
Washing		●	—	—	●
Centrifugal cleaning	Heavy contraries	—	●	○	—
	Light contraries	—	—	●	—
Dispersion		—	●	●	—
Reductive bleaching		●	●	—	—
Oxidative bleaching		●	●	—	—
		● high	● average	○ low	— no efficiency

Fig. 18 - Efficiency ranges of the process modules.

In figura 18 è possibile rilevare l'efficacia dei moduli di processo su questi parametri qualitativi nel caso di cartaccia bianca senza legno proveniente da ufficio:

- gli stadi di imbianchimento danno il maggior incremento di grado di bianco;
- la flottazione e la dispersione sono i più efficaci nella riduzione dei punti di sporco;
- lo screening e la dispersione i più efficaci nella riduzione degli stickies;
- il lavaggio è il modulo di processo più efficace per la riduzione delle ceneri.

Questa tabella vale per la cartaccia bianca senza pasta legno proveniente da ufficio; nel caso di cartaccia con pasta legno, per esempio, il maggior incremento del gradi di bianco viene dato dalla flottazione.

5. IMPIANTO DI DISINCHIOSTRAZIONE PER CARTA GRAFICA

Dopo queste premesse si può passare all'esame di un caso pratico: un impianto di disinchiostrazione che, partendo da un determinato tipo di materia prima, per esempio cartaccia bianca senza legno proveniente da ufficio (woodfree mixed office waste – MOW), abbia come prodotto finito pasta finalizzata a produrre carta bianca di alta qualità (high grade woodfree graphic paper). Come anticipato, per la progettazione dell'impianto di disinchiostrazione è essenziale fare riferimento sia alle caratteristiche richieste dal prodotto finito sia a quelle richieste dalla materia prima che viene in via preliminare sottoposta ad una serie di prove.

Le misure fatte su campioni di impasto presi dopo l'epurazione grossolana a fori e fessure (coarse screening) permettono di verificare grado di bianco, punti di sporco, stickies e ceneri permettendo un controllo della materia fibrosa in ingresso al processo produttivo.

È interessante verificare l'entità degli scostamenti dai valori medi che risultano per tutti questi parametri o, in altre parole, quanto variano le caratteristiche della materia prima utilizzata. È chiaro che il prodotto finito dovrà avere caratteristiche costanti e di questo si dovrà tenere conto nella progettazione e gestione dell'impianto di disinchiostrazione.

A seguito di circa 20 prove, fatte sempre sullo stesso tipo di impasto, il fornitore è stato in grado di ricavare i valori, espressi in percentuale, che misurano l'efficienza dei singoli moduli di processo.

Si supponga di realizzare un impianto con i vari moduli di processo collocati in sequenza nell'impianto di disinchiostrazione. Un criterio per la collocazione in sequenza dei moduli può essere quello della densità decrescente; si cerca, in altre parole, di evitare dove possibile costosi processi di addensamento. A scopo indicativo sono riportate in parentesi anche le densità di lavoro consigliate.

Il modulo pulper ($d \sim 15\%$) è ovviamente all'inizio del sistema, in quanto preposto a sciogliere la cartaccia di partenza. Seguono, per ragioni di pulizia dell'impasto, l'epurazione centrifuga a pasta densa ($d \sim 4\%$), l'epurazione a media densità a fori ($d \sim 2,5 \div 3\%$) e l'epurazione a media densità a fessure ($d \sim 1,5 \div 2\%$). La collocazione di questi primi moduli è uguale in tutti gli impianti.

Nello schema a blocchi si trovano nell'ordine:

- flottazione ($d \sim 1 \div 1,3\%$)
- cleaners per impurità pesanti ($d \sim 0,8 \div 1\%$)
- epurazione a fessure 0,10mm a bassa densità ($d \sim 0,8 \div 1\%$)
- macchina di lavaggio ($d \sim 0,6 \div 0,8\%$)
- addensamento e dispersione ($d \sim 25 \div 30\%$)
- sbianca con idrosolfito ($d \sim 10 \div 15\%$)

A seguito di alcune prove fatte successivamente si vede che:

- per raggiungere il grado di bianco richiesto mancano 10 punti ISO: è necessario quindi prevedere un secondo stadio di imbianchimento
- per realizzare un significativo aumento della pulizia dell'impasto si devono utilizzare ancora i moduli più efficaci nella riduzione dei punti di sporco, cioè la flottazione e la dispersione.

Inizialmente l'area dei punti di sporco era di $2827 \text{ mm}^2/\text{m}^2$; con una efficienza del 94,1% il carico residuo dei punti di sporco è di circa $170 \text{ mm}^2/\text{m}^2$; dato che il target è di $10 \text{ mm}^2/\text{m}^2$, deve essere raggiunta un'efficienza di pulizia del 99,65%, che equivale ad aumentare l'efficienza dell'impianto considerato di un altro 95%. Ciò corrisponde all'integrazione del precedente schema con altri tre moduli ciascuno con un'efficienza del 65%.

Per evitare lo stress meccanico delle fibre è conveniente limitare a due gli stadi di dispersione; il rimanente incremento di pulizia dovrà essere quindi raggiunto con un modulo aggiuntivo di dispersione e due altri moduli di flottazione. L'esperienza ha dimostrato che uno stadio di flottazione aggiuntivo può raggiungere l'efficienza desiderata solo se preceduto da un trattamento dell'impasto molto intensivo dal punto di vista meccanico, come appunto la dispersione. Questo trattamento intermedio di dispersione provoca una ulteriore riduzione e separazione dei punti di sporco dalla fibra e inoltre produce una modifica della geometria delle particelle di toner. Le particelle di forma appiattita di toner vengono, nel trattamento a caldo, compattate e ridotte ad una forma "più" tridimensionale, con il risultato di una migliore flottabilità nelle celle di flottazione.

Tornando ora allo schema a blocchi si vede alla fine è stato integrato con altri moduli aggiuntivi.

Oltre ad un altro processo di imbianchimento con H_2O_2 , necessario per raggiungere il grado di bianco voluto, oltre alla seconda flottazione, seconda dispersione e terza flottazione, necessarie per raggiungere l'efficienza desiderata nella riduzione dei punti di sporco, sono stati previsti due moduli di cleaners per impurità leggere e pesanti. Con la terza flottazione la

pulizia dell'impasto aumenta, passando dai $20 \text{ mm}^2/\text{m}^2$ a $5 \text{ mm}^2/\text{m}^2$. In totale l'area dei punti di sporco è stata ridotta da 1500 a $5 \text{ mm}^2/\text{m}^2$ con una efficienza del sistema pari al 99,65%. La pasta disinchiostrata viene o utilizzata direttamente, mandandola alla macchina continua, oppure mandata ad una pressa Wet lap ed immessa sul mercato.

Volendo fare una verifica, sempre con i dati rilevati nella prova di avviamento si può valutare se le efficienze globali, relative ai parametri considerati, sono state tutte superate. È interessante fare una osservazione a riguardo dell'impianto di disinchiostrazione esaminato: la sequenza dei processi di sbianca, primo stadio con idrosolfito e secondo stadio con acqua ossigenata, è abbastanza inusuale. Nell'impianto in esame si è voluto privilegiare il raggiungimento di un alto grado di bianco; il vantaggio di questa sequenza consiste, infatti, nell'elevato grado di pulizia della pasta prima della seconda sbianca: fini, metalli pesanti e batteri sono già stati eliminati nei moduli precedenti, per cui l'imbianchimento con acqua ossigenata avviene praticamente in assenza di sostanze che possono disturbare il processo, con i vantaggi e svantaggi nel caso considerato.

L'impianto ha una capacità di 110.000 t/anno; circa il 70% della pasta prodotta viene venduta ed utilizzata in sostituzione di cellulosa. Escludendo il grado °SR e l'area degli stickies residui, che peraltro non hanno dato adito a contestazioni da parte degli utilizzatori, le caratteristiche della pasta disinchiostrata sono più o meno uguali a quelle della fibra vergine. I parametri esaminati devono essere non solo rispettati ma anche costanti. Mentre la complessità dell'impianto garantisce la qualità del prodotto finale, la costanza delle sue caratteristiche è garantita da:

- reperibilità dello stesso tipo di materia prima
- alto livello della strumentazione e dei sistemi di controllo
- personale qualificato.

Teoricamente la riduzione degli stickies sarebbe dovuta risultare molto più alta; in realtà bisogna tener conto che nel processo industriale i micro stickies presenti nell'impasto possono riagglomerarsi, per esempio nelle vasche di stoccaggio, originando nuovi macro stickies.

6. CICLO ACQUE

Fino a questo momento è stata trascurata la componente essenziale della disinchiostrazione: il ciclo acque. È interessante notare che per l'acqua di processo sono stati realizzati tre circuiti, ognuno con il suo impianto di chiarificazione (DAF = dissolved air flotation). Per avere un'idea più chiara per un impianto completo, bisogna prendere in considerazione sia il trattamento dell'acqua di macchina (DAF1) e il trattamento finale dell'acqua che verrà inviata all'impianto biologico (DAF4).

Per quanto riguarda il ciclo acque si nota che:

- ogni circuito è strettamente separato dagli altri, in quanto i diversi cicli si chiudono dopo dei moduli di addensamento;
- i cicli sono realizzati in cascata;
- i cicli sono in controcorrente rispetto alla macchina da carta;
- l'acqua fresca viene immessa solo per gli utilizzi di macchina e il surplus delle acque seconde viene inviato ai loops precedenti;
- solo l'acqua di spremitura degli scarti viene mandata fuori dalla cartiera (dal DAF 4 al biologico).

Si parla di impianti in cui il consumo d'acqua è inferiore ai 10 litri per kg/carta, comprensivi dell'acqua di evaporazione in macchina e di quella perduta assieme agli scarti. Ma quali considerazioni hanno spinto il progettista a suddividere il sistema acque in modo apparentemente così complicato?

Con la cartaccia entrano nel pulper e quindi nell'impianto non solo le impurità solide prima esaminate e che, fino a certe dimensioni, si possono eliminare, ma anche tutta una serie di sostanze organiche e inorganiche, quali lignina, saccaridi, emicellulose, ioni metallici, batteri, pigmenti, cere, patine, eccetera, che praticamente, date le loro dimensioni, restano in soluzione nell'acqua. Per separare contaminanti dall'acqua si possono sfruttare i principi di: evaporazione, membrane osmotiche, nanofiltrazione e ultrafiltrazione sono processi che, dati i grossi volumi d'acqua in gioco, non sono ancora entrati negli impianti industriali.

Solo la microflottazione permette un trattamento economico delle masse d'acqua in gioco, ma anche con l'utilizzo di flocculanti o precipitanti la diminuzione di questo tipo di contaminanti è in ogni caso limitata. Queste sostanze inquinanti restano nel ciclo, favoriscono la formazione di sedimenti e influenzano negativamente, per esempio, il grado di bianco e le proprietà meccaniche del prodotto, nonché altri parametri come la ritenzione in macchina. Per

il controllo del ciclo di processo si rende quindi necessario una misura di queste sostanze: data la varietà e le piccole dimensioni, un loro computo diretto e continuo è praticamente improponibile; si ricorre, pertanto, a degli indicatori che danno una misura del potenziale di disturbo di questi contaminanti. Gli indicatori più comunemente adottati sono il valore del COD (Chemical Oxygen Demand), la domanda cationica e la conducibilità elettrica. Si prende qui in considerazione, come indicatore, il valore del COD. Assieme ai parametri già esaminati come grado di bianco, ceneri, punti di sporco e stickies, per la qualità della pasta disinchiostata è importante anche un altro requisito: basso valore del COD. Considerato che la microflottazione, come prima accennato, non dà risultati soddisfacenti, come diminuire il valore di COD nella pasta disinchiostata o nella carta prodotta? Si è visto che separando i cicli d'acqua in funzione del tipo di impianto, di materia prima e prodotto, si può tenere il COD in macchina continua sotto certi valori.

Nel circuito di testa macchina il carico di COD è circa un quarto di quello del circuito del pulper. È importante che vengano previsti dei microflottatori per alleggerire il carico inquinante: un flottatore per il circuito di testa macchina, uno o più flottatori per la preparazione impasti. È poi normalmente previsto un flottatore finale prima dell'impianto biologico. Per la diminuzione del COD dell'impasto è importante l'apertura del ciclo acque.

Il COD, nel prodotto finito e quindi in macchina continua, diminuisce all'aumentare dell'apertura del ciclo acqua. Nel nostro caso, riferito a cartaccia costituita da cartoni misti a giornali, il carico di COD iniziale è di circa 32 kg/t; in ascissa sono riportati i litri d'acqua per kg di carta versati allo scarico della cartiera (effluente). Se a questi valori si aggiunge l'acqua evaporata (circa 1,1 l/kg carta) e l'acqua che si perde con gli scarti (circa 0,5 l/kg carta) si ha il consumo specifico per kg carta. Con uno scarico all'effluente di 6 l/kg carta, il COD in macchina continua è di circa 5.000 mg/l, valore accettabile ad esempio per una produzione di Liner. Non è consigliabile scendere sotto certi valori del consumo specifico; anche utilizzando antibatterici ed altri mezzi chimici, una chiusura del ciclo acque porta problemi di ritenzione e depositi in macchina continua, corrosioni, odori sgradevoli. Per le carte bianche il carico di COD iniziale, si riduce a circa la metà di quello precedentemente considerato, ma, soprattutto in questo caso, date le più alte caratteristiche qualitative del prodotto, la chiusura totale del ciclo resta un sogno; normalmente per la produzione di carte bianche il tenore di COD in macchina continua è inferiore a 1000 mg/l.

7. DAF (DISSOLVED AIR FLOTATION) O MICROFLOTTATORE

Vediamo sommariamente come funziona un microflottatore per la pulizia dell'acqua di processo. Nel caso di un microflottatore con bacino di forma circolare; l'acqua da trattare viene immessa nel centro del bacino, segue un flusso radiale in direzione della circonferenza esterna; man mano che l'acqua si allontana dal centro diminuisce la sua velocità.

Prima di esser immessa nel centro del bacino, l'acqua da trattare viene mescolata con una certa percentuale di acqua chiarificata (o da trattare), preventivamente saturata con aria alla pressione di 7 bar.

È importante che dopo il processo di aerazione non rimangano bolle d'aria che potrebbero interferire con il processo di flottazione. Solo dopo la depressurizzazione del miscuglio aria-acqua alla pressione atmosferica, si liberano, in un determinato campo dimensionale, delle microbolle che, mescolandosi all'acqua da trattare, portano i flocculi in superficie formando un pannello di fango che viene asportato meccanicamente dal centro del bacino. Con l'utilizzo di polimeri cationici, anioni metallici, i microstickies fini ed altre particelle con carica negativa vengono catturati e agglomerati in flocculi fisicamente flottabili. Il pannello di fango, scaricato dal flottatore, viene inviato ad una pressa fanghi ed evacuato dal sistema.

Nell'ambito dell'impianto di disinchiostrazione il trattamento degli scarti e soprattutto dei fanghi rappresenta uno dei maggiori problemi, data l'enorme quantità di questi ultimi. A questo punto vale la pena introdurre il concetto di resa dell'impianto, dove come resa si intende la percentuale in peso di prodotto finito rispetto al peso della materia prima caricata sul nastro del pulper. È subito evidente che la resa dipende dal tipo di materia prima ed, in particolare, dalla percentuale di cariche presenti. Con riferimento all'impianto di disinchiostrazione esaminato, partendo da un contenuto in cariche maggiore del 20% si vuole arrivare ad un prodotto finito con un massimo del 5%; questo equivale ad una perdita in peso di almeno il 15%. Nel modulo di lavaggio, dove viene separata la maggior parte delle cariche, viene scartata anche più o meno la stessa quantità di fini. Altre perdite si hanno naturalmente nella schiuma delle celle di flottazione, negli scarti del pulper, dello screening e dei cleaners; purtroppo anche una piccola percentuale di fibre viene persa. La resa globale di un impianto come quello da noi esaminato è alla fine di circa il 60%, valore che è comparabile con quello di impianti simili. La previsione della resa di un impianto è essenziale non solo per valutarne l'economicità, ma prima ancora per il dimensionamento dei macchinari da utilizzare nel processo.

8. IMPIANTO DI DISINCHIOSTRAZIONE PER CARTA TISSUE

Analizziamo ora un impianto di disinchiostrazione per carta tissue. La materia prima è sempre dello stesso tipo, cioè carta bianca senza legno proveniente da ufficio; si può però vedere che in questo caso l'impianto di disinchiostrazione è molto diverso da quello prima esaminato: molto diverse sono infatti le caratteristiche qualitative richieste dal prodotto finito.

In questo caso è stato scelto un processo di tipo riducente con iposolfito di sodio o FAS per lo stadio di imbianchimento, più adatto a staccare i colori dalle fibre che ad ottenere il massimo incremento del grado di bianco. Per le macchine tissue le problematiche maggiori sono legate alla presenza di stickies; questi contaminanti collosi non solo imbrattano le tele e i feltri, i cilindri guidatela e guidafeltro esterni, provocando fermi macchina per esigenze di lavaggio, ma sono causa di rotture nel "converting". Gli stickies, infatti, attaccano fra di loro i fogli di carta, per esempio nelle bobine dell'arrotolatore; quando le bobine vengono svolte per l'accoppiamento o altre lavorazioni si hanno inevitabilmente delle rotture. Per la riduzione degli stickies, oltre alla dispersione, si è fatto ricorso in questo impianto anche ad un secondo screening a fessure 0,15 mm a bassa densità. Per quanto riguarda la rimozione delle cariche (ceneri) è stato qui previsto un solo modulo di lavaggio probabilmente in considerazione della relativamente bassa percentuale di cariche nella materia prima. In altri impianti, dove la percentuale delle cariche nella materia prima può essere del 25% e oltre, si utilizzano due moduli di lavaggio in sequenza. Sono stati previsti solo due circuiti per l'acqua di processo: quello della macchina e quello della preparazione impasti. L'impianto di disinchiostrazione schematizzato in figura 36 è funzionante in Germania, dove viene venduta gran parte della carta. In questo paese e in generale nei paesi nordici, per carte tissue ecologiche, che utilizzano cioè fibre secondarie, non sono richieste caratteristiche molto alte per quanto riguarda il grado di bianco e la riduzione dei punti di sporco.

9. IMPIANTO DI DISINCHIOSTRAZIONE PER CARTA GIORNALE

Nel caso di un impianto per giornali, la materia prima è quella tipica usata per la produzione di giornale, cioè un miscuglio di 50% giornale e un 50% rivista. La cartaccia viene sciolta in un pulper ad alta densità ($d = 15\%$) e subisce allo scarico dello stesso una pre-pulizia grossolana con vagliatura a fori $\varnothing 8\text{mm}$ ($d = 4,5\%$) e quindi, dopo l'epurazione centrifuga ad alta densità ($d = 4\%$), passa per una vagliatura a fori a media densità ($d = 2,5-3\%$). Segue uno stadio di pre-flottazione ($d = 1-1,3\%$), cleaners per impurità pesanti ($d = 0,8-1\%$) e quindi screening a fessure a bassa densità ($d = 0,8-1\%$). Dopo l'addensamento la pasta è mandata al dispersore ($d = 30\%$) e alla torre di imbianchimento con acqua ossigenata ($d = 25-30\%$). La pasta bianchita viene quindi diluita e mandata alla post-flottazione ($d = 1-1,3\%$) e infine addensata a circa il 12% per la torre di stoccaggio. Per giornale di alta qualità con il requisito di un alto grado di bianco può essere previsto, dopo l'addensamento, un secondo stadio di imbianchimento, questa volta con iposolfito di sodio o FAS ($d = 12\%$). Nello schema a blocchi di figura 38 sono stati previsti 2 stadi di imbianchimento ma bisogna dire che per molti impianti di disinchiostrazione per carta giornale non si utilizzano stadi di sbianca; l'aumento del grado di bianco viene ottenuto nelle celle di flottazione e gli additivi chimici vengono, in questo caso, solitamente immessi nel pulper. Tornando allo schema di figura 38 sono stati previsti due separati circuiti d'acqua per la preparazione impasti (loop 1 e loop 2), un terzo circuito per il testa macchina e un altro ancora per il trattamento dell'acqua degli scarichi. Anche qui è importante che i cicli siano strettamente separati ed in controcorrente rispetto alla macchina continua: l'acqua fresca viene immessa solo per gli spruzzi di macchina; per controllare il carico di COD è essenziale l'utilizzo di microflottatori.

10. CENTRO DI RICERCA

Dall'osservazione sommaria dei tre impianti di disinchiostrazione esaminati, appare chiaro che l'utilizzo di un modulo di processo piuttosto che di un altro, la loro sequenza nell'impianto, il tipo di additivi chimici scelto, la realizzazione di più circuiti d'acqua dipendono sempre da:

- qualità della materia prima,
- caratteristiche richieste del prodotto finito.

Di volta in volta l'impianto di disinchiostrazione viene progettato “su misura” in base ai requisiti richiesti. In considerazione che:

- la realizzazione di un impianto di disinchiostrazione comporta, dal punto di vista economico, un investimento medio-alto;
- la materia prima, anche se classificata, è di volta in volta diversa: in funzione del luogo o paese di provenienza cambiano per esempio gli inchiostri di stampa, il tipo di fibre, l'invecchiamento della cartaccia eccetera;
- le esigenze qualitative dei prodotti finiti sono diverse;
- la reperibilità dei prodotti chimici o la loro economicità dipendono dalla localizzazione dell'impianto, mentre il loro utilizzo dipende dalle leggi locali per la protezione ambientale.

Al momento di definire come l'impianto deve essere costituito, nell'interesse sia del cliente che del fornitore, si ricorre a delle prove di “laboratorio”. Con il tipo di cartaccia che si intende in futuro utilizzare vengono fatte delle prove in impianti di ricerca dove vengono riprodotte al meglio le condizioni di esercizio di un impianto industriale. La Voith ha due centri di ricerca per la preparazione impasti: uno negli Stati Uniti a Appleton e uno in Germania a Ravensburg.

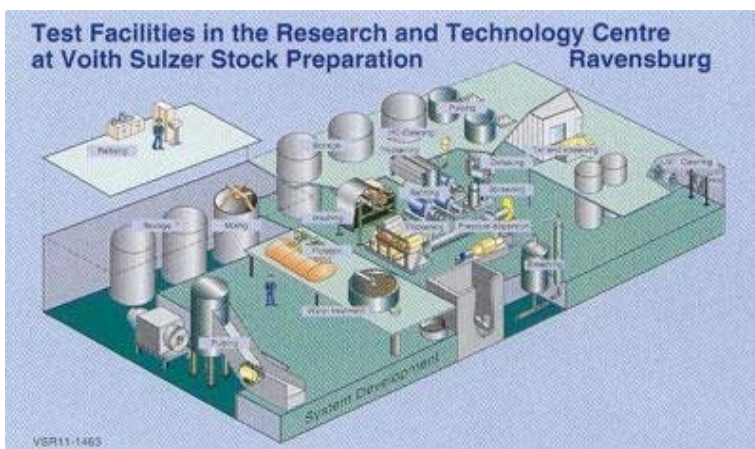


Fig. 19

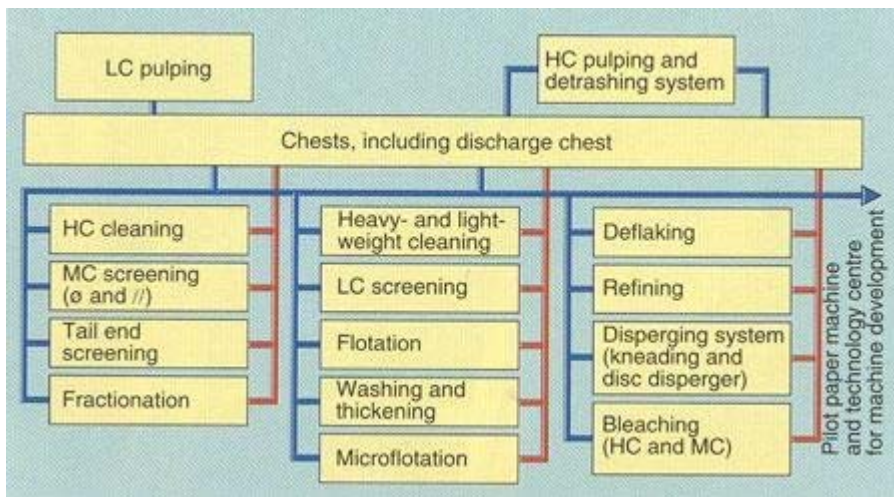


Fig. 20

Quest'ultimo è rappresentato nella figura 19, mentre in figura 20 sono riassunte tutte le operazioni che possono essere realizzate. L'impianto è realizzato in modo da poter di volta in volta scegliere il tipo e la sequenza dei macchinari. Si evidenzia che tutti i macchinari, anche se di taglia inferiore, sono in ogni caso macchine industriali di serie, ma con una capacità di 40-50 t/24h. Per il pulper si può scegliere quello a bassa o alta densità; per lo screening sono disponibili rotori e cestelli di tipo diverso; per il dispersore si può decidere per l'esecuzione con rotori a (pioli) (Kneading Disperger) o a denti (Disc Disperger). Il microflottatore permette di chiudere il ciclo acque e riprodurre, per quanto possibile, le condizioni di temperatura e carico chimico di quello che sarà l'impianto industriale. Questi centri di ricerca sono supportati da attrezzati laboratori per l'analisi, la classificazione ed elaborazione dei campioni prelevati durante l'esecuzione delle prove. Solo in base ai risultati viene alla fine definito nei suoi componenti il futuro impianto di disinchiostrazione. Con riferimento ai risultati ottenuti nelle prove, il costruttore può dare garanzie sull'efficienza dell'impianto ed il cliente conoscere anticipatamente il prodotto che riuscirà ad ottenere.

11. BIBLIOGRAFIA

- Appunti e dispense: Internet, Massimo Gardusi
- Un ringraziamento personale a Massimo Gardusi. (Responsabile depuratore e Deink)