

10° Corso di Tecnologia per Tecnici Cartari
edizione 2002/2003

Rigidità della carta

di Avellini Giorgio

Scuola Interregionale di Tecnologia per Tecnici Cartari

Via Don G. Minzoni, 50 - 37138 Verona



INDICE

- 1. Introduzione**
- 2. Strumenti di laboratorio**
 - 2.1 – Rigidometro Taber
 - 2.2 – Rigidometro Gurley
 - 2.3 – Rigidometro elettronico
 - 2.4 – Kajaani FS 200
- 3. Norme sulla rigidità**
- 4. Caso industriale**
- 5. Conclusioni**

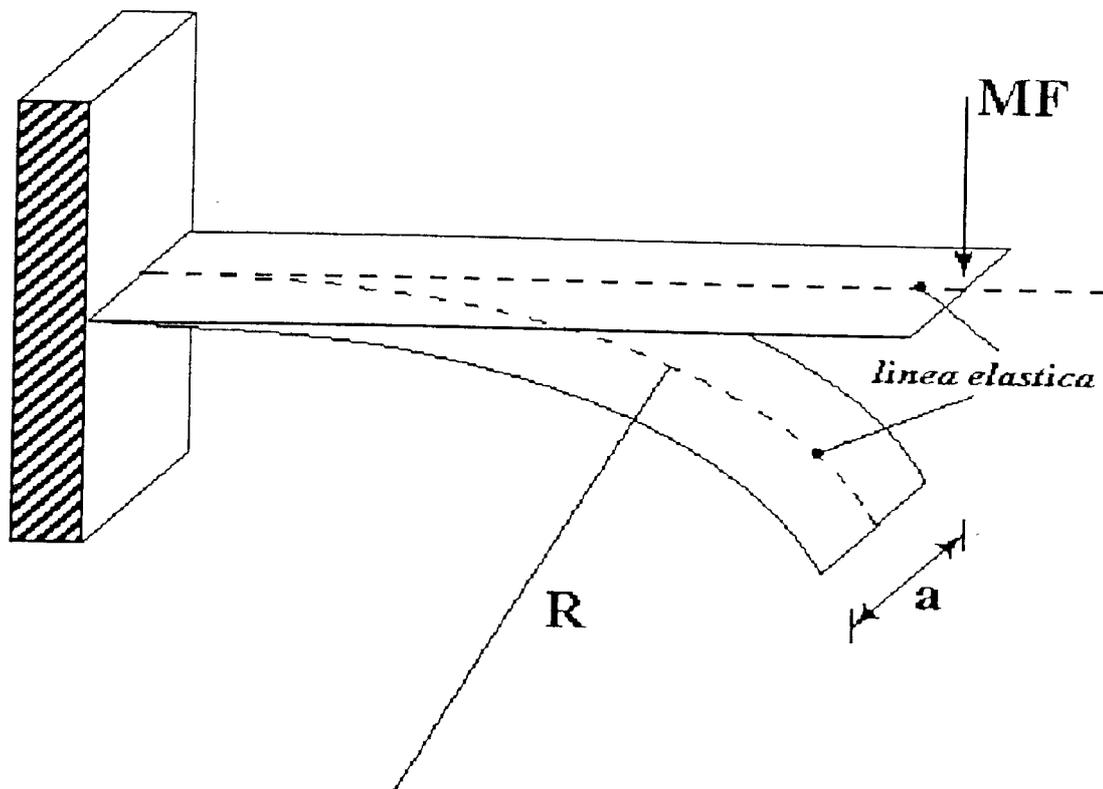
1. INTRODUZIONE

Tra le caratteristiche della carta, particolare importanza assume la rigidità. Questa proprietà è infatti determinante per molti tipi di carta, basti pensare alla carta da scrivere, da stampa e da impacco, ed è inoltre un requisito essenziale anche per molti tipi di cartoncino come quelli per schede meccanografiche, per schedari, per cartelline e per astucci pieghevoli che non devono deformarsi quando sono riempiti di materiale.

Inoltre essa è la proprietà più importante nella carta per ondulatori, perché da essa dipende la resistenza allo schiacciamento del cartone ondulato.

Caratteristica contraria alla rigidità è la sofficietà. Per ottenere carte soffici si adottano, infatti, criteri contrari a quelli che si seguono per ottenere carte rigide.

La rigidità della carta può essere definita come la proprietà che essa possiede di opporsi alle sollecitazioni di flessione che tendono a deformarla.



Si può analizzare, al riguardo, il caso della flessione semplice in regime elastico (disegno).

Data una striscia omogenea, di sezione rettangolare, alla cui estremità si applica un momento flettente MF si può constatare che, purchè non vi siano forze di taglio che agiscano sulla striscia, il MF rimane costante lungo tutta la lunghezza della striscia stessa e che questa assume una forma circolare, con il raggio di curvatura R.

Se la deformazione che la striscia subisce è elastica, l'asse della striscia si dispone lungo una linea che si chiama "linea elastica".

Questa è un arco di circonferenza ed è definita dalla seguente equazione:

$$L / R = MF / E * I$$

o anche

$$MF * R = E * I \quad (1)$$

Dove E è il modulo elastico o modulo di YOUNG ed I è il modulo d'inerzia.

Occorre ora riferire il momento flettente alla larghezza unitaria della striscia, che indichiamo con a.

Avremo pertanto

$$M = MF / a \quad (2)$$

Sostituiamo la (2) nella (1)

$$M * R = MF * R / a = E * I / a = Sb$$

La grandezza S_b , riferita alla larghezza unitaria della striscia, prende il nome di rigidità a flessione e caratterizza il comportamento alla flessione semplice di una striscia come quella da noi considerata.

In base ai diversi esperimenti compiuti, si è potuto constatare che la carta si comporta come un corpo elastico solo quando i carichi applicati sono una frazione molto piccola di quelli massimi e le deformazioni corrispondenti sono pure piccole.

Se invece si supera il limite elastico, la carta si comporta come un materiale plastico e la deformazione non è più proporzionale al carico, ma la carta subisce una deformazione permanente, che permane anche quando si elimina il carico.

Il fattore che più di tutti sembra influire sulla rigidità della carta è lo spessore ed infatti, come verrà dimostrato in seguito, si potrà verificare come, a parità di grammatura e delle altre condizioni, a piccole variazioni dello spessore del foglio, corrispondono apprezzabili variazioni di rigidità. Pertanto è dimostrato che la rigidità è funzione del cubo dello spessore.

Se una buona rigidità è un'esigenza importante della carta è necessario allora mantenere i valori dello spessore più alti possibili, compatibilmente con gli altri requisiti che la carta deve possedere.

Va detto inoltre che la rigidità differisce fortemente nelle due direzioni principali della carta, quella cosiddetta LONGITUDINALE MD (parallela cioè alla direzione di macchina) e quella TRASVERSALE CD (cioè perpendicolare alla MD); infatti, a causa dell'orientamento preferenziale delle fibre nella direzione di macchina, la rigidità risulta maggiore in direzione LONGITUDINALE (MD).

Vi sono inoltre forti differenze di rigidità a seconda delle diverse materie prime fibrose utilizzate, specie in relazione alla loro densità apparente. La pastalegno, ad esempio, conferisce più rigidità alle carte perché le fibre hanno uno spessore maggiore. Particolarmente rigide sono anche le materie prime ricche di emicellulose, come la mezzapasta di paglia e le paste semichimiche. Le emicellulose, infatti, che rappresentano l'insieme dei polisaccaridi non cellulosici facenti parte dei tessuti vegetali, sono incorporate allo stato amorfo nella parete cellulare delle fibre, soprattutto nella parte esterna di esse, e sono strettamente associate alla cellulosa dalla quale, per la maggior parte, vengono idrolizzate nelle fasi di cottura e solubilizzate nei liscivi mentre, in minor parte, rimangono nella cellulosa conferendo alla fibra varie proprietà, tra le quali anche la rigidità.

Altro fattore che tende a fare aumentare la rigidità del foglio è il grado di raffinazione dell'impasto fibroso; infatti inizialmente il moltiplicarsi dei legami interfibra fa aumentare questa caratteristica mentre, man mano che si procede con la

lavorazione della materia fibrosa, si provoca un irreversibile danneggiamento di quest'ultima con una conseguente diminuzione della rigidità.

Assume così un'importanza rilevante anche la misura del "coarsness" che, rappresentando la massa per unità di lunghezza (mg/m), ci permette di valutare indirettamente la "densità" della fibra e quindi anche il danneggiamento subito dalle sue pareti durante il processo di raffinazione. Anche il contenuto di umidità, infine, può consentire variazioni di rigidità alla carta, particolarmente quando esso supera il valore del 50% di U.R. Al 65% infatti, si ha una diminuzione rapida della rigidità in quanto le fibre diventano più flessibili e plastiche deformandosi maggiormente agli sforzi di flessione. Tra i diversi metodi di misura della rigidità, quella cosiddetta TABER, può essere definita come il momento flettente, espresso in grammi/centimetri che si deve applicare a una provetta larga 38,1 mm, disposta verticalmente e fissata ad un estremo, per incurvarla di 15° rispetto alla posizione di partenza, quando la forza agisce perpendicolare al piano iniziale della provetta "a" ad una distanza di 50 mm dal punto di fissaggio.

Essa può essere determinata con vari dispositivi, ma per i nostri scopi ci siamo serviti di un apparecchio elettronico la cui teoria è comunque basata sugli stessi principi del rigidometro TABER.

2. STRUMENTI DI LABORATORIO

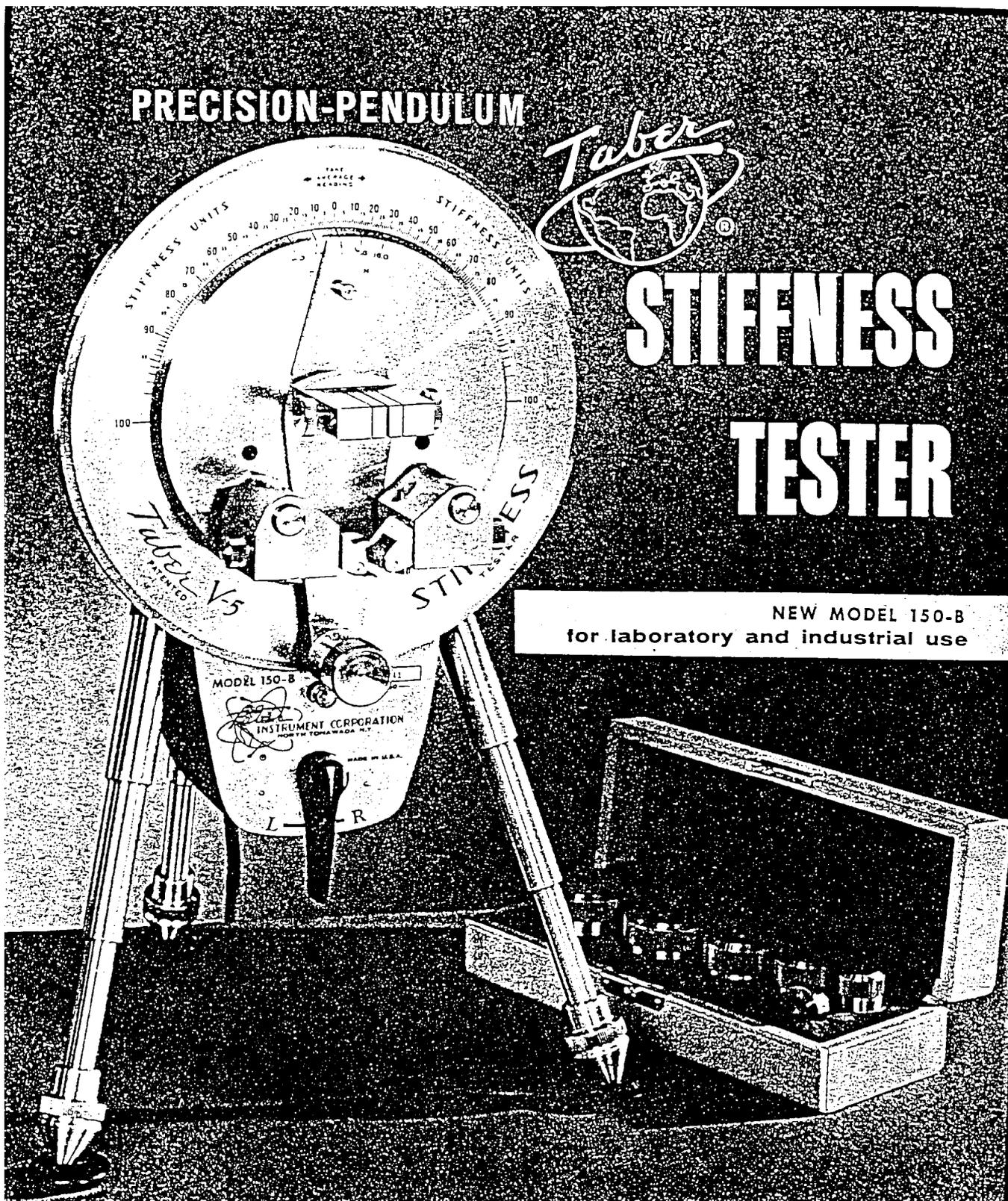
2.1 RIGIDOMETRO TABER

Il più noto strumento di misura è il rigidometro TABER, che unitamente a quello di GURLEY ci permettono di determinare questa caratteristica della carta.

L'apparecchio (fig. 1) comprende un pendolo oscillante attorno ad un perno montato orizzontalmente su cuscinetti a sfere, alla parte anteriore del quale è applicato un morsetto le cui ganasce possono essere spostate perpendicolarmente al loro piano per mezzo di due viti, in modo da poter centrare la provetta rispetto a tre linee di riferimento tracciate sul pendolo.

Quando il morsetto è chiuso e centrato, gli orli inferiori delle ganasce coincidono con l'asse di rotazione del pendolo.

Dis. *TABER*



Nella parte inferiore del pendolo, alla distanza di 10 cm dall'asse di rotazione, vi è un perno nel quale si possono infilare contrappesi cilindrici; quando non vi sono contrappesi applicati, il carico agente sul pendolo è pari a 10 g ed il momento flettente, con il pendolo orizzontale è pari a 100 g x cm.

Il momento flettente, in grammi-centimetri, è letto su un quadrante anulare, in corrispondenza di una tacca incisa all'estremità superiore del pendolo, e che coincide con la linea passante per l'asse di rotazione e per il centro dei perni dei contrappesi.

Vi sono due scale, una a sinistra e una a destra dello zero, che è posto in alto, sulla verticale passante per l'asse di rotazione, ed è comune alle due scale.

Le scale sono graduate da zero a 100, con divisioni pari a 1 g x cm; il valore fondo scala è di 100 g x cm.

I contrappesi di normale dotazione all'apparecchio, sono tre e portano il carico applicato all'apparecchio a 50, 100, 200 g cui corrispondono valori fondo scala di 500, 1000, 2000 g x cm.

All'interno del quadrante anulare vi è un disco girevole, coassiale con il pendolo. Questo disco è comandato da un motore che lo fa girare in un senso o nell'altro alla velocità angolare di 210°/min. Alla parte inferiore del disco sono applicati due bracci che portano due rullini di spinta, affacciati a poca distanza l'uno dall'altro e suscettibili di essere spostati orizzontalmente per mezzo di viti; il loro asse dista 50 mm dall'asse di rotazione del pendolo. Nella parte superiore del disco vi sono 5 tacche. Una è centrale, allineata con la linea centrale fra i due rullini di spinta, e l'asse di rotazione. Le altre tacche sono collocate due a sinistra e due a destra. Le due più esterne si trovano a una distanza angolare di 15°, le due interne a 7,5° rispetto alla tacca centrale.

Le provette sono larghe 38.1 mm e lunghe 70 mm; se ne preparano due serie, tagliate con il lato lungo nella direzione longitudinale (rigidità nella direzione longitudinale) e l'altra nella direzione trasversale (rigidità nella direzione trasversale).

Per l'esecuzione della prova si porta il disco girevole con la tacca centrale contro lo zero della scala e si mette sul perno del pendolo un peso adatto alla rigidità della carta da provare, in modo che la lettura si trovi più vicino possibile al centro della scala. Si chiudono le ganasce del morsetto, in modo che i loro orli corrispondano alla linea centrale incisa sul pendolo, e si regolano le viti calanti, finché la tacca superiore del pendolo coincida con lo zero della scala.

Si metta una provetta sul morsetto, con il lato lungo verticale e uno dei lati corti, allineato con l'orlo superiore del morsetto; l'altra estremità si trova fra i rullini di spinta. Si serrano le ganasce del morsetto, manovrando le viti in modo che la striscia sia centrata rispetto alla linea di riferimento del pendolo.

Si spostano i rullini di spinta per mezzo delle loro viti e si pongono a leggero contatto con la striscia, senza piegarla (se ciò avviene il pendolo si muove). Si tira indietro di un quarto di giro una delle viti, per creare tra la striscia e i rullini un gioco di circa 0.3 mm, indipendentemente dallo spessore della striscia. Si fa girare il disco in senso orario, quindi la striscia è spinta dal rullino di destra verso sinistra, che agendo sul morsetto, fa spostare il pendolo dalla sua posizione di equilibrio.

Se nel morsetto vi fosse una provetta talmente rigida da non incurvarsi, il pendolo accompagnerebbe solidamente la rotazione del disco e la sua tacca superiore continuerebbe a coincidere con la tacca centrale del disco. Se invece la striscia si flette, la velocità di rotazione del pendolo è minore di quella del disco e la tacca superiore del primo si allontana dalla tacca centrale del secondo.

Quando la tacca del pendolo si allinea con quella di 15° del disco, alla sinistra di quella centrale, è segno che la striscia ha subito una flessione di 15° ; allora si ferma il disco e si legge il momento flettente sulla scala, in corrispondenza delle due tacche allineate. Immediatamente dopo si riporta il disco a zero e si ripete la stessa operazione dalla parte opposta e il risultato della prova è la media delle due letture.

La lettura della scala, corrisponde al momento flettente solo se il pendolo non porta contrappesi. Se invece si sono applicati i contrappesi, si deve moltiplicare il risultato per il valore del contrappeso che è rispettivamente di: 5 per il contrappeso da 500 g x cm; 10 per quello da 1000 g x cm; 20 per quello da 2000 g x cm.

La scala è graduata in grammi-centimetri per un sovrappeso del pendolo di 10 gr e un braccio di 10 cm.

Però il braccio che agisce sulla provetta per ottenere un dato momento flettente è di 5 cm, quindi la forza è doppia (20 g a fondo scala). Per tener conto di ciò si è introdotta l'unità TABER, definita come il momento flettente, in grammi-centimetri, che si ottiene quando una forza di 0,2 g è applicata ad una striscia di carta larga 38,1 mm, su una lunghezza di flessione di 5 cm e per un angolo di flessione di 15° . Per i cartoni pesanti, la normale dotazione di contrappesi non è sufficiente e si devono applicare contrappesi corrispondenti a 3000 e 5000 unità TABER fondo scala. Se quest'ultimo contrappeso non è sufficiente, si riduce l'angolo di flessione a $7,5^\circ$ (e si moltiplica per due il fattore del contrappeso). Si deve usare lo stesso accorgimento quando il cartone, anche con contrappesi più leggeri, tende a fessurarsi o a sfaldarsi per un angolo di 15° .

Se la provetta è incurvata, il pendolo non è a zero quando incomincia la prova. Si ottengono pertanto due letture differenti da una parte e dall'altra, che però si compensano quando si fa la media. Può anche avvenire che, se la provetta è molto incurvata, le due le due letture cadano dalla stessa parte dello zero; in questo caso si

calcola la media assegnando un valore negativo alla lettura più bassa. Si sconsiglia di raddrizzare la provetta con le dita, perché è facile farle subire una deformazione permanente, che ne modifica la rigidità.

Per la regolazione dello strumento, si controlla l'attrito del pendolo applicando il contrappeso che interessa e spostando il pendolo di 15° , dopo che l'apparecchio è stato centrato, ma prima di applicare la striscia fra i morsetti. Il pendolo deve fare almeno 20 oscillazioni complete prima di fermarsi. Per la verifica, la casa Taber fornisce alcune lamine in acciaio tarate in unità Taber che, inserite nello strumento come una provetta, devono dare un risultato uguale a quello di taratura.

L'apparecchio Taber, nella realizzazione da noi descritta, è adatto per carte pesanti, cartoncini e cartoni. Non si presta all'impiego invece con carte normali, perché il momento flettente è troppo basso e la lettura è quindi imprecisa. È possibile far funzionare l'apparecchio in un campo da 0 a 10 unità Taber senza contrappesi nella parte inferiore del pendolo, ma applicando un contrappeso speciale nella parte superiore di questo.

Inoltre si girano di sotto in su i bracci portarullini per ridurre la lunghezza di flessione da 5 a 1 cm.

La provetta ha dimensioni di 38 x 38 mm; si opera nel solito modo, dividendo per 10 la lettura fatta.

Con le carte sottili per le quali anche l'accorgimento precedente non è sufficiente, si usa un dispositivo ad alta sensibilità con portata fondo scala di 1 unità Taber. Esso è costituito essenzialmente da due asticcioline orizzontali applicate al morsetto ed altre due, intercalate alle prime, applicate al disco.

Si mette la provetta (38 x 38) fra le asticcioline, in modo che due di queste rimangano sopra (una solidale al morsetto e l'altra col disco) e le altre due sotto. La lettura è fatta solamente sulla scala di destra, con un angolo di flessione di 15° ; essa è poi divisa per 100, per esprimere il risultato in unità Taber.

L'apparecchio prima descritto è quello tradizionale, puramente meccanico, ma esiste anche un modello, nel quale il termine della prova è rilevato automaticamente per mezzo di un encoder ad alta risoluzione ottica e di un fotosensore senza contatto.

La lettura è fatta su due visualizzatori, uno per ciascun senso di rotazione. L'apparecchio è costruito in modo da poter funzionare anche manualmente, come il modello tradizionale.

I risultati ottenuti con la lunghezza di flessione di 1 cm e con il dispositivo ad alta sensibilità non sono confrontabili con quelli che si hanno col procedimento normale. Pertanto, quando si parla di rigidità determinata con l'apparecchio Taber originale è sempre necessario menzionare il procedimento per la determinazione.

2.2 RIGIDOMETRO GURLEY

Dalla rigidità TABER va tenuta distinta la rigidità GURLEY che è la forza di flessione che è necessario applicare ad una striscia avente larghezza e lunghezza stabilite per incurvarla nelle condizioni operative dell'apparecchio.

In questo apparecchio parte essenziale è un pendolo bilanciato, girevole attorno ad un asse orizzontale.

Il pendolo termina con un indice che scorre lungo una scala graduata secondo il seno dell'angolo che nelle varie posizioni l'indice forma con la verticale.

La scala è doppia, con zero centrale, e la numerazione è 10 volte il valore del seno.

La parte superiore del pendolo termina con una paletta avente l'orlo orizzontale distante 5 pollici (1 pollice = 25,4 mm) dall'asse di rotazione del pendolo.

Dietro il pendolo è collocato un braccio, girevole attorno al suo asse che è comandato da un motore.

Il braccio porta un morsetto con ganasce, adatto per alloggiare strisce di larghezze diverse.

Alla parte inferiore del pendolo, si possono applicare pesi diversi, a diverse a diverse distanze dal suo asse di rotazione.

L'insieme di tutte queste variabili permette di realizzare combinazioni, con le quali si possono provare materiali aventi rigidità molto diverse.

Durante la prova un'estremità della striscia è fissata ad un morsetto che si sposta lungo un arco di cerchio, mentre l'altra estremità poggia sul braccio superiore di un pendolo contrappesato, sovrapponendosi ad esso di circa 6 mm.

Quando il morsetto si sposta, la striscia si incurva sempre di più per effetto della resistenza crescente offerta dal pendolo, fino a staccarsi da esso; in questo momento si effettua la lettura e si ripete la prova sull'altro lato della striscia.

Il risultato è espresso dalla media di questi due valori ed esso può essere ricondotto alla Forza di Flessione tramite un'apposita tabella di conversione fornita dalla ditta produttrice.

2.3 RIGIDOMETRO ELETTRONICO

Per quanto riguarda il rigidometro elettronico, il principio della prova è lo stesso dell'apparecchio TABER, perché anche qui si opera su una striscia avente una lunghezza utile di 5 cm, con un angolo di flessione di 15° .

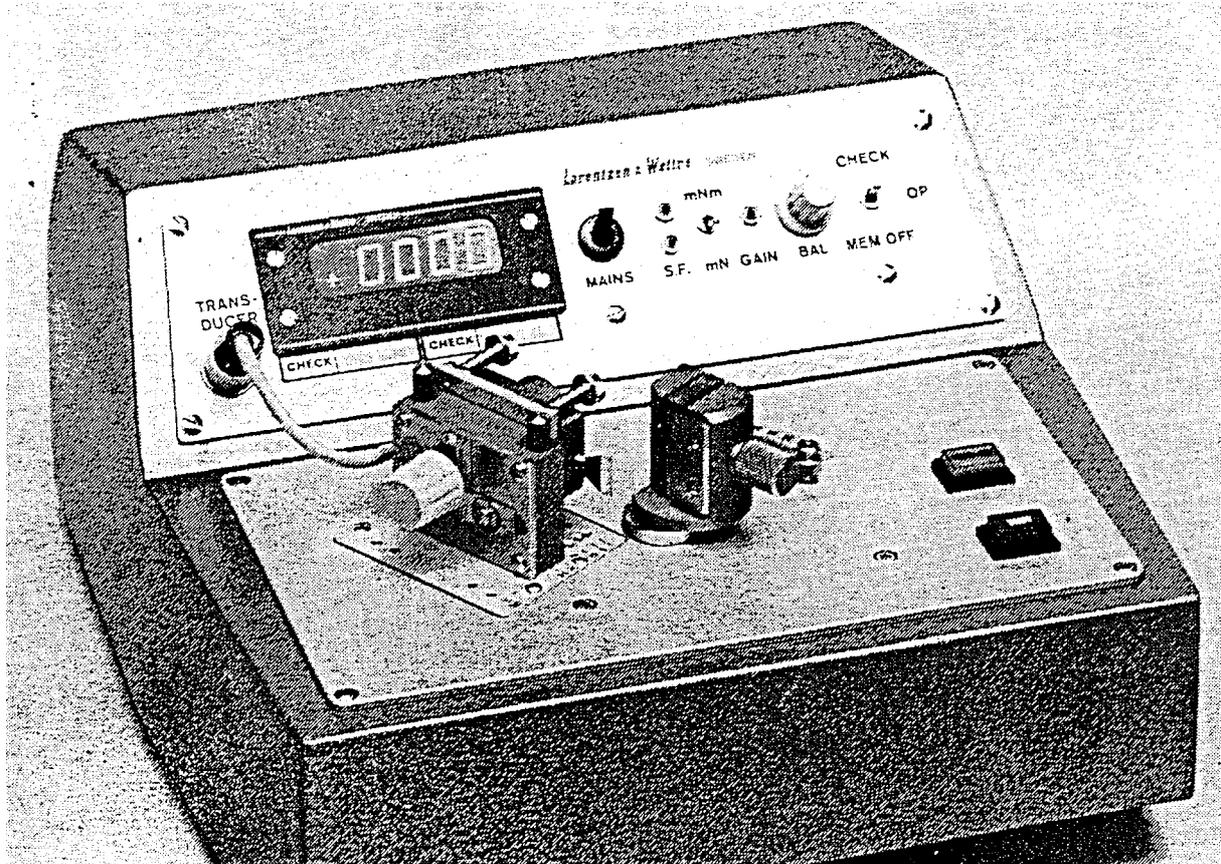
Quello che risulta diverso è soltanto il sistema di misura, costituito da una cella di carico, con la quale si determina la forza necessaria per flettere la striscia.

L'apparecchio (fig. 2) comprende un morsetto con l'orlo verticale, al quale si fissa una striscia larga 38 mm e lunga 70 – 80 mm, con il lato lungo disposto orizzontalmente.

Il morsetto può ruotare attorno ad un asse verticale che coincide con l'orlo delle ganasce, per opera di un motore che gli fa descrivere un angolo di 15° in 30 sec.; in realtà il morsetto può assumere qualunque posizione fra 5° e 30° , ma può essere bloccato in sei posizioni fisse, e cioè: 5° ; $7,5^\circ$; 15° ; 20° ; 25° ; 30° .

A 50 mm di distanza dall'orlo del morsetto, si trova un cuneo verticale con orlo smussato, collegato per mezzo di un'asta ad una cella di carico a resistenza elettrica.

La cella di carico può anche essere posta alla distanza di 1,5; 10; 15; 20; 25 mm dall'orlo del morsetto, per evitare in corrispondenza la lunghezza di flessione.



Il cuneo può essere spostato avanti e indietro per mezzo di un bottone che agisce su una cremagliera, in modo da portarlo a leggero contatto della provetta.

La forza che agisce sulla cella di carico è letta su un visualizzatore, con l'approssimazione di un mN; la portata è di 5000 mN.

L'apparecchio consta inoltre di un commutatore che permette di leggere la rigidità in millinewton metro, per una lunghezza di flessione pari a 50 mm e un angolo di flessione di 15° .

Per l'esecuzione della prova, si fissa la provetta nel morsetto e si regola la posizione del cuneo in modo che esso tocchi appena la provetta.

Si avvia il motore del morsetto, che si ferma automaticamente quando questo ha descritto un angolo di 15° .

A questo punto si legge la forza indicata dallo strumento, quindi si fa ritornare il morsetto nella posizione di partenza.

L'apparecchio non permette di flettere la provetta nei due sensi, come avviene nel rigidometro TABER; è pertanto necessario esaminare un numero doppio di provette, metà con il lato tela e metà con il lato feltro rivolto verso la cella di carico.

In sostanza, le condizioni operative del rigidometro elettronico non si discostano da quelle del rigidometro TABER; l'unica differenza di rilievo è data dalla durata della prova, che nel rigidometro elettronico è fissa a 3 sec., mentre nel rigidometro TABER essa può andare da pochi secondi a più di 20 secondi, secondo il punto della scala in cui si fa la lettura.

2.4 KAJAANI FS 200

L'apparecchio FS 200, utilizzato per la determinazione di distribuzione della lunghezza di fibra e del "coarsness", può effettuare analisi di impasti fibrosi che contengono fibre di lunghezza fino a 7,2 mm.

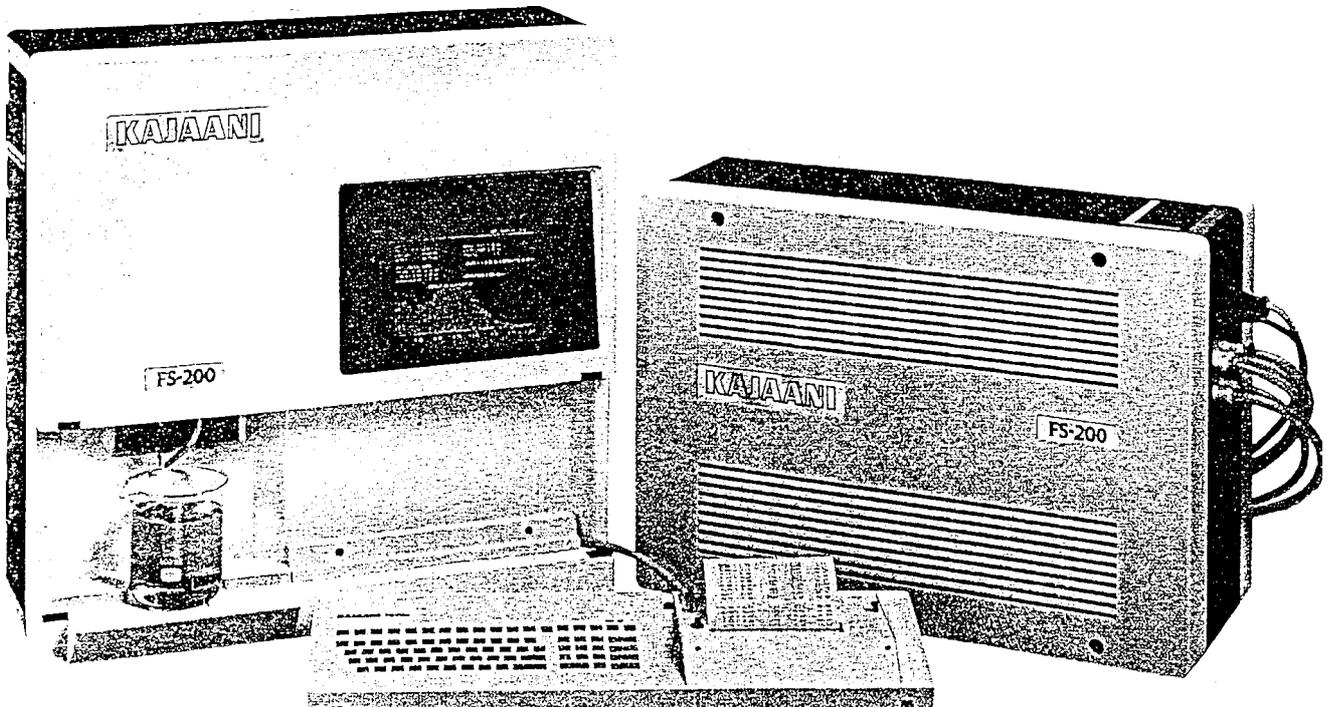
Le fibre di un impasto da analizzare, passano una per una attraverso un capillare, dove viene effettuata la misurazione della loro lunghezza mediante un raggio di luce laser; con una frequenza massima di 100-110 letture al secondo, l'analisi di un campione costituito da molte migliaia di fibre viene portata a termine in qualche minuto. Se il campione fibroso da analizzare viene accuratamente pesato ed il valore inserito nel KAJAANI FS 200, si può ottenere anche la "coarseness" di un impasto, espressa in mg / m.

Nella memoria dell'apparecchio possono essere registrati i dati di 102 analisi (le ultime due, la 101 e la 102 servono per la taratura dello strumento; una si riferisce all'analisi dell'impasto costituito da 100 % fibra corta, l'altra all'analisi dell'impasto costituito da 100 % fibra lunga), qualora si voglia conoscere la composizione percentuale fl / fc.

I dati relativi ad ogni singola analisi possono essere elaborati per ottenere informazioni statistiche relative ad un impasto; il range di misura, (7,2 mm) è suddiviso in 144 settori, ognuno ampio 0,05 mm.

Partendo dunque da 0 mm, alle fibre che hanno lunghezza di fibra compresa tra 0 e 0,05 mm, viene assegnata la lunghezza media di ogni settore, (0,025) e così via, 0,075, 0,125...fino a 7,2 mm.

Dis KAJAANI



Questi dati “grezzi” vengono elaborati per ottenere le lunghezze medie dell’impasto:

- la media aritmetica, (arithmetic mean)
- la media “L” pesata, (“L” weighted mean)
- la media “W” pesata. (“W” weighted mean)

dove “pesato” è inteso nel senso statistico di dare più peso (importanza) ad un determinato parametro.

La media aritmetica di un impasto è semplicemente espressa dalla formula:

$$\frac{\sum_{j=1}^{144} n_j \cdot l_j}{\sum_{j=1}^{144} n_j}$$

Media aritmetica

dove n_j è il numero di fibre di lunghezza l_j e la sommatoria è naturalmente estesa a tutti i 144 settori.

La media “L” pesata, viene ottenuta moltiplicando, al numeratore, il numero di fibre di lunghezza l_j , per la lunghezza l_j al quadrato, in modo che le fibre di lunghezza inferiore a 1 mm risultino meno importanti rispetto a quelle superiori a 1 mm (infatti elevando al quadrato un numero inferiore ad 1, il risultato è più piccolo del numero di partenza, mentre è vero il contrario per un numero maggiore di 1).

La media “L” pesata può quindi permettere di riconoscere quale, tra due impasti, (anche se la loro media aritmetica è identica), contiene anche un esiguo numero di fibre lunghe in più, rispetto all’altro, in quanto esse sono determinanti per le proprietà meccaniche della carta che si vuole produrre.

$$\frac{\sum_{j=1}^{144} n_j \cdot l_j^2}{\sum_{j=1}^{144} n_j \cdot l_j}$$

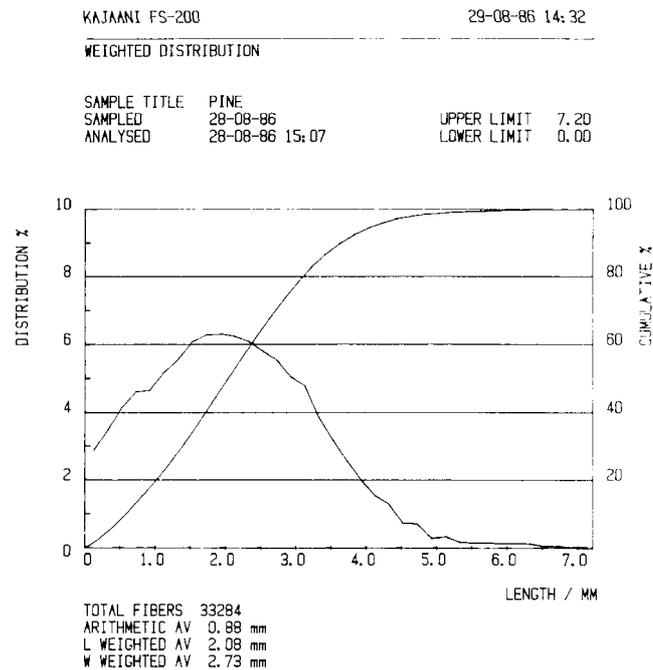
Media “L” pesata

La media “W” pesata, evidenzia in maniera anche maggiore la differenza costituita da poche fibre lunghe in più di un impasto rispetto ad un altro essendo al numeratore, la lunghezza l_j elevata al cubo:

$$\frac{\sum_{j=1}^{144} n_j \cdot l_j^3}{\sum_{j=1}^{144} n_j \cdot l_j^2}$$

Media “W” pesata

Il KAJAANI FS 200, inoltre, se collegato ad un plotter, può produrre due tipi di grafici, quello della distribuzione della popolazione, e quello della distribuzione “W” pesata.



Nei grafici, vengono riportati i valori di 144/4, cioè 36 punti, infatti, i dati dei 144 settori vengono raggruppati quattro a quattro, e si riferiscono quindi ad intervalli di lunghezza di 0,2 mm.

Nel grafico che si riferisce alla distribuzione della popolazione, ogni punto della curva si riferisce alla percentuale di fibre di una certa lunghezza l_j , rispetto al numero totale di fibre (100 %).

Nell'altro grafico invece, della distribuzione "L" pesata, ogni punto della curva, si riferisce alla percentuale che il j - esimo termine, costituito da $n_j \times l_j$, rappresenta rispetto al totale della sommatoria di tutti i termini : $\sum n_j \times l_j$ (100 %). In ogni grafico, inoltre, viene riportata anche la curva cumulativa relativa a ciascuna distribuzione.

Infine, impostando sull'apparecchio un valore di lunghezza, ad esempio 0,5 mm o 0,75 mm, in ogni tipo di grafico appariranno i dati relativi alla percentuale di quante fibre sono comprese tra 0 e 0,5 o tra 0 e 0,75 mm, rispetto al numero totale delle fibre (100 %) ed inoltre i dati relativi alla percentuale che la sommatoria parziale $\sum n_j \times l_j$ (fino alla lunghezza impostata, es: $l_j = 0,5$ mm, o $l_j = 0,75$ mm) rappresenta rispetto alla sommatoria di tutti i termini : $\sum n_j \times l_j$ (100 %).

3. NORME SULLA RIGIDITÀ

IL metodo ATICELCA MC 110-76 (65) si applica specificatamente all'apparecchio di Taber e prescrive che la prova sia fatta su 5 provette per ciascuna direzione principale della carta. Il risultato è espresso come unità Taber.

La norma UNI 9070 – 86, che riproduce la norma iso 2493 – 73, si applica a tutti gli apparecchi che operano secondo il principio TABER, quindi sia all'apparecchio di TABER originale, sia a quello elettronico.

Si specifica che si misura la rigidità nell'intervallo da 20 a 1000 mN, solitamente corrispondenti a grammature comprese fra 150 e 1500 grammi / metro quadrato.

Si specifica che la lunghezza nominale di flessione è di 50 mm; le lunghezze minori di 50 mm non sono pertanto conformi alla norma. La velocità di flessione deve essere tale che la durata della prova sia compresa fra 3 e 20 s. Si stabilisce che la lunghezza libera della striscia, cioè quella che sporge dal morsetto, sia di 57 mm.

Se il materiale (come cartone spesso o cartone paraffinato) si delamina o si screpola quando l'angolo di flessione è di 15°, se ne può ridurre il valore a 7,5°, quindi si moltiplica per due il risultato. Tuttavia questi valori sono più elevati di quelli ottenuti con un angolo di 15°. La norma ammette tanto che si faccia la prova deformando la striscia nei due sensi, quanto che si esaminino due serie di provette, una per ciascun senso di curvatura. Si esclude che si possa riutilizzare una provetta dopo che la si è tolta dal morsetto dell'apparecchio.

Quando il valore letto sull'apparecchio è espresso in unità Taber, si fa la conversione in newton moltiplicando la lettura per 0,00981 e dividendo per la lunghezza di flessione in cm; questa, nel rigidometro di Taber, è pari a 5,18 cm.

Il metodo TAPPI Standard T 489 om-86 (67) è valido solo per l'apparecchio di Taber e per il cartoncino avente lunghezza di flessione pari a 50 mm (nominali). Il risultato è espresso in grammi centimetro (unità Taber); per la conversione nelle unità SI si ricorre all'espressione seguente:

$$1 \text{ g*cm} = 0,00981 \text{ mN*m}$$

La ripetibilità va dal 3 % al 5 %; la riproducibilità dal 9 % al 20 %. I valori più elevati corrispondono alla scala di portata più bassa.

La norma SCAN-P 29:84 (68) si riferisce solo all'apparecchio elettronico. La lunghezza standard è di 50 mm; se però la rigidità è minore di 100 mN, si riduce la lunghezza di flessione a 10 mm. Ogni provetta per una sola misurazione. Si opera su 20 provette, 10 nella direzione di macchina, e 10 nella direzione trasversale. Per ogni direzione si provano 5 provette con il lato tela verso la concavità della striscia e 5 nel modo opposto.

4. CASO INDUSTRIALE

Per eseguire un'analisi, sulle probabili cause che possono far variare i valori di rigidità, ho preso in considerazione (per ragioni di lavoro) una serie di cartoncini patinati. Ovviamente, tutti i dati che riporterò, sono reali, ed estrapolati dai controlli, che si effettuano quotidianamente su tutta la carta prodotta.

La prima causa che ho voluto prendere in considerazione, è la diversità, tra i tipi di cellulosa impiegati nella preparazione dell'impasto. Per far questo, ho messo in relazione i valori di spessore, rigidità, e grammatura finale di 5 diverse grammature: 210, 240, 270, 300, 330, e tre diversi tipi di produzione, una ipotetica STANDARD, una con l'impiego di BCTMP e una senza l'impiego di BCTMP.

Come possiamo vedere dai dati riportati nel grafico 1, l'utilizzo di BCTMP, provoca un aumento di spessore, e un conseguente incremento della rigidità, pur avendo una grammatura inferiore. Questo a conferma nell'affermare che la rigidità dipende dalla grammatura, non è del tutto corretto.

**Produzione di cartoncino patinato
CONFRONTO CON e SENZA BCTMP**

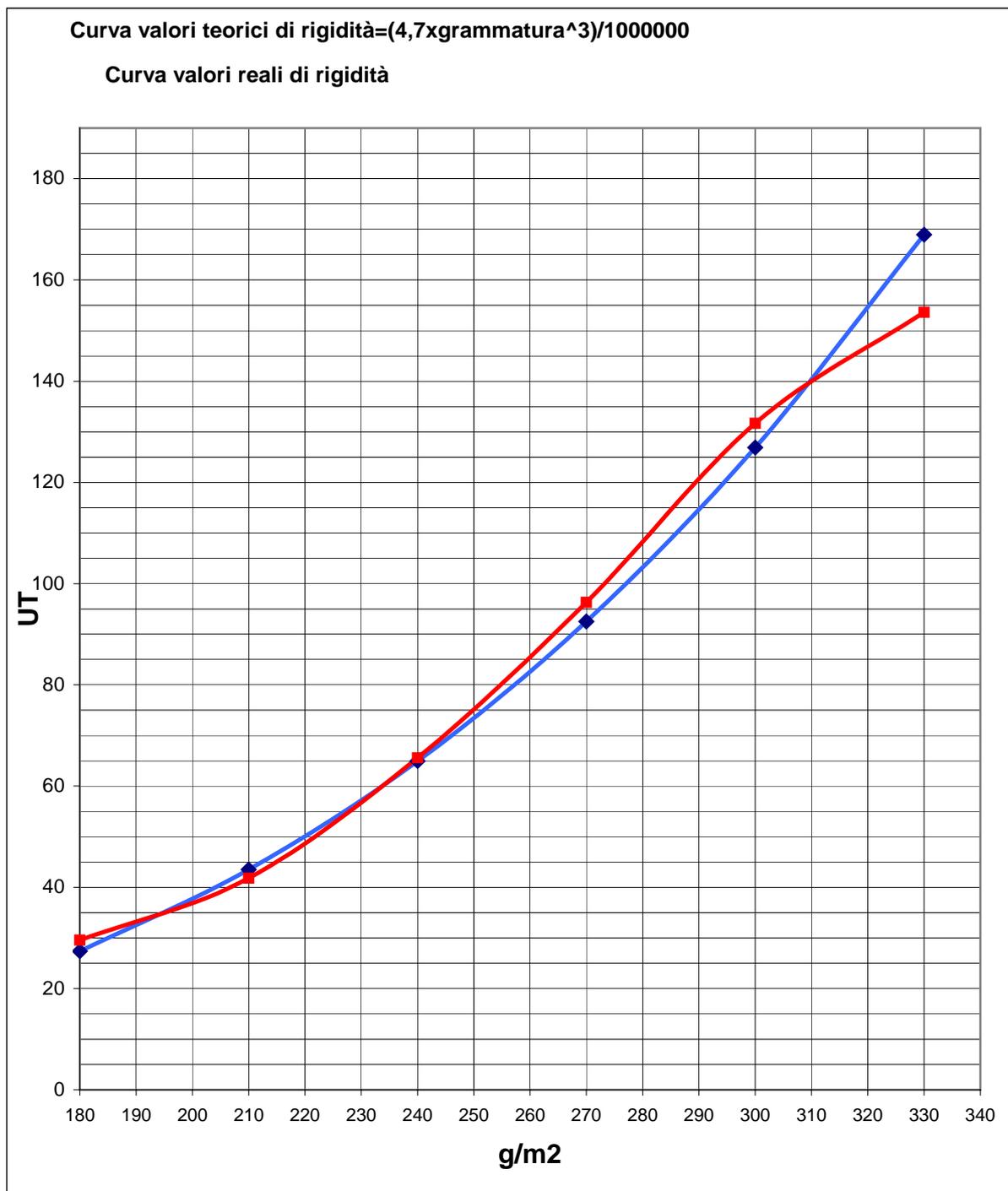
STANDARD	U.I.	210 gr/m ²	240 gr/m ²	270 gr/m ²	300 gr/m ²	330 gr/m ²
Spessore	μ	250	285	325	360	400
Rig Long.	UT	38	59	91	111	150
Rig Trasv	UT	25	37	54	71	94
V.S.A.	cc/gr	1,19	1,19	1,20	1,20	1,21

CON BCTMP	U.I.	210 gr/m ²	240 gr/m ²	270 gr/m ²	300 gr/m ²	330 gr/m ²
Spessore finale Lab CQ	μ	246,5	289,5	329,0	359,5	398,0
Rig Long. Condizionata	UT	41,8	65,6	96,3	131,7	153,6
Rig Trasv Condizionata	UT	27,5	41,4	59,4	79,2	95,0
Grammatura finale ponte 5	gr/m ²	210,0	239,5	270,0	297,0	327,5
V.S.A.	cc/gr	1,17	1,21	1,22	1,21	1,22

SENZA BCTMP	U.I.	210 gr/m ²	240 gr/m ²	270 gr/m ²	300 gr/m ²	330 gr/m ²
Spessore finale Lab CQ	μ	241,5	282,5	319,0	348,0	382,5
Delta spessore rispetto alla STD	%	-3,4	-0,9	-1,8	-3,3	-4,4
Rig Long. Condizionata	UT	42	62,3	85,0	105,0	135,0
Delta Rig. Long rispetto alla STD	%	10,5	5,6	-6,6	-5,4	-10,0
Rig Trasv Condizionata	UT	26,5	38,6	55,0	72,5	85,0
Delta Rig Trasv Condizionata	%	6,0	4,3	1,9	2,1	-9,6
Grammatura finale ponte 5	gr/m ²	211,0	243,5	273,0	301,0	327,5
V.S.A.	cc/gr	1,14	1,16	1,17	1,16	1,17

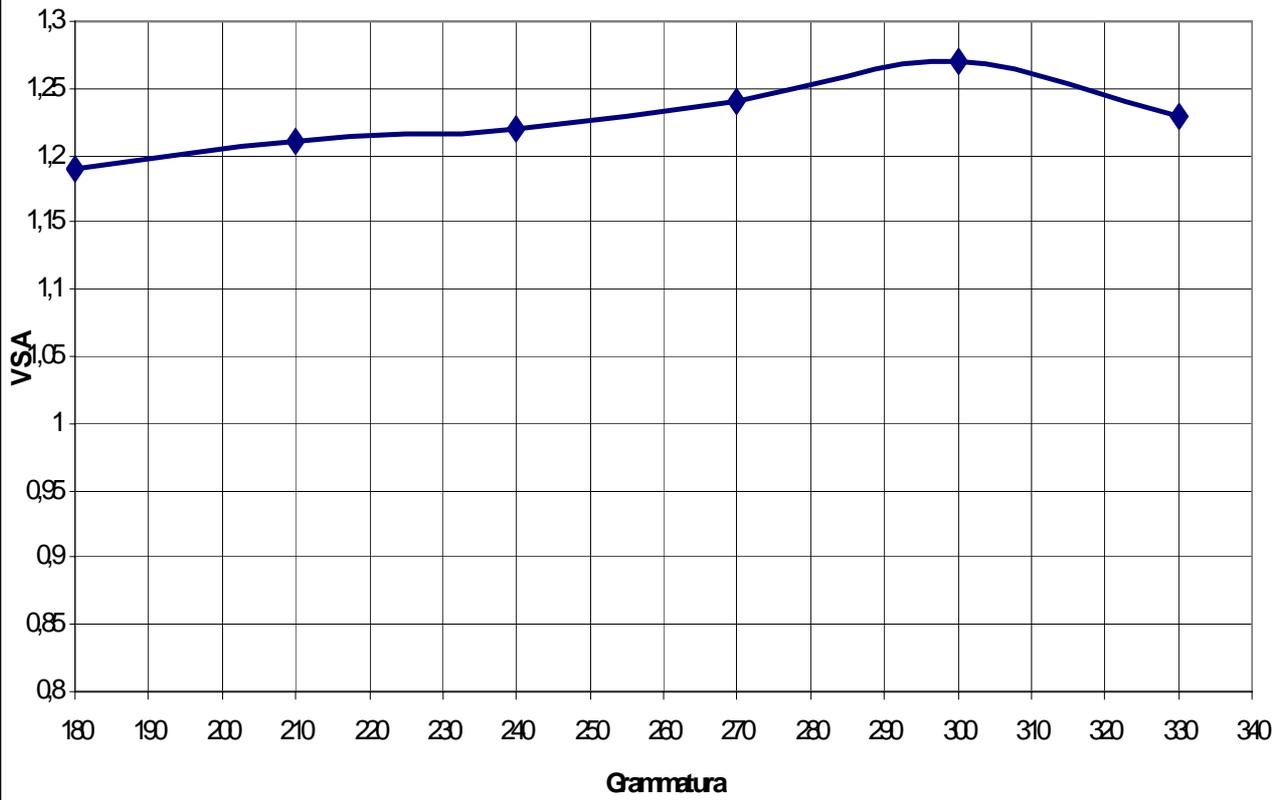
SENZA BCTMP	U.I.	210 gr/m ²	240 gr/m ² (*)	270 gr/m ²	300 gr/m ²	330 gr/m ²
Spessore finale Lab CQ	μ	236,8	266,2	307,0	335,3	393,5
Delta spessore rispetto alla STD	%	-5,3	-6,6	-5,5	-6,8	-1,6
Rig Long. Condizionata	UT	42	51	75	95	140
Delta Rig. Long rispetto alla STD	%	10,1	-13,8	-17,6	-14,4	-6,7
Rig Trasv Condizionata	UT	23	30	48	60	80
Delta Rig Trasv Condizionata	%	-7,0	-18,9	-12,0	-15,5	-14,9
Grammatura finale ponte 5	gr/m ²	210,6	241,6	275,0	296,9	327,6
V.S.A.	cc/gr	1,12	1,10	1,12	1,13	1,20

Infatti, osservando la curva di interpolazione, che ho creato, si può notare, come in realtà, le due curve, che rappresentano una i valori teorici di rigidità, e l'altra i valori reali, si sovrappongono sino ai 240 gr, poi dai 240 gr ai 310, la curva dei valori reali, supera addirittura quella dei valori teorici, ma alla soglia dei 310 gr, i valori reali, cominciano a calare mentre i valori teorici, continuano a salire.

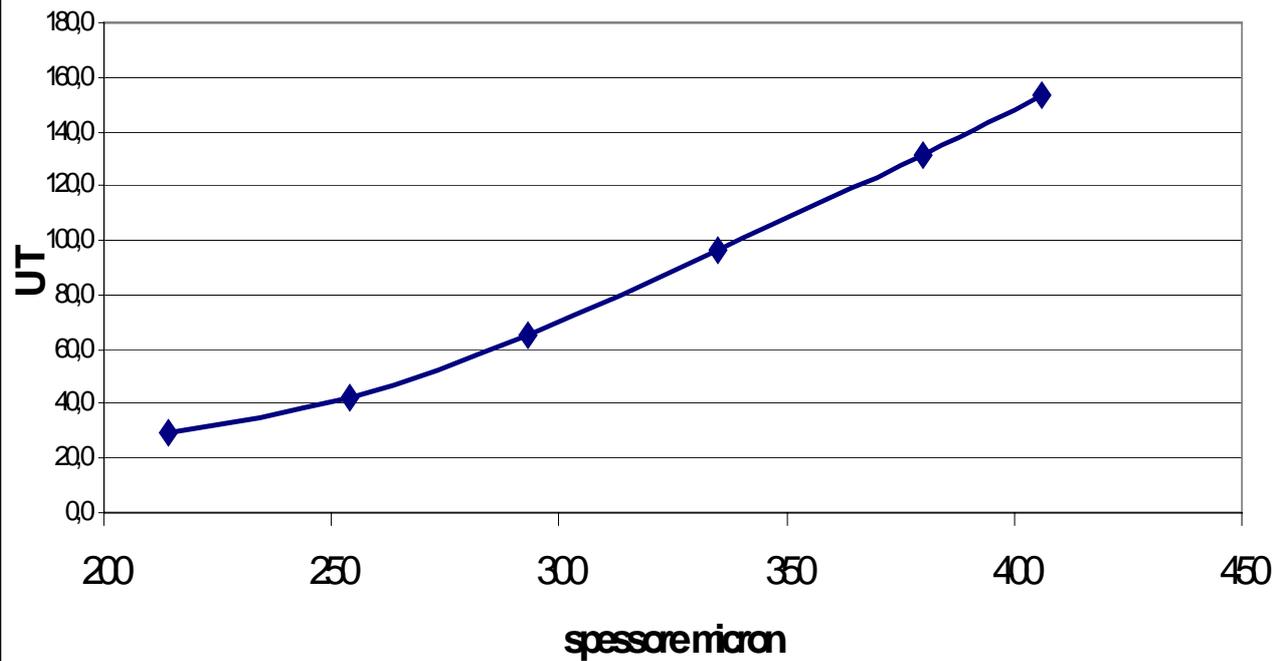


Quindi possiamo dire che la rigidità non dipende dal cubo della grammatura, ma dal cubo dello spessore, infatti osservando il grafico del VSA in funzione della grammatura, possiamo notare come il VSA (volume specifico apparente) che sarebbe dato da cc/gr, aumenti fino ai 300 gr, poi dai 300 ai 330, cala leggermente. Questo perché fino ai 300 gr, grammatura e spessore, aumentano in maniera più o meno proporzionale, superati i 300 gr, per ragioni ovvie, lo spessore rispetto alla grammatura cala, e di conseguenza anche la rigidità.

VSA in funzione della grammatura



Curva valori reali di rigidità



5. CONCLUSIONI

Giunti a questo punto, il nostro lavoro deve interrompersi in quanto la prosecuzione dello stesso, per giungere ad una certezza obiettiva di risultati, richiederebbe l'effettuazione di prove più complesse ed un periodo di tempo certamente più lungo.

Tuttavia, alla luce dei risultati raggiunti nelle diverse prove, è possibile individuare alcuni fattori che influiscano in modo decisivo sulla rigidità.

Tra questi deve essere annoverata in primo luogo “la raffinazione” poiché una raffinazione a consistenza maggiore, contribuisce a ridurre l'azione di taglio da parte delle lame dei raffinatori provocando, di conseguenza, una diminuzione della quantità di “fini” contenuta nell'impasto e quindi nella carta.

E' pertanto necessario analizzare le modificazioni subite dalle singole fibre durante la lavorazione in fase di raffinazione, per provare le correlazioni esistenti tra le caratteristiche morfologiche dell'impasto fibroso e le variazioni delle proprietà del foglio.

La raffinazione provoca degli effetti che distingueremo come “effetti primari” ed “effetti secondari”.

Gli effetti primari hanno come conseguenza l'accorciamento della fibra, la fibrillazione esterna e la produzione di parti molto fini, oltre al riarrangiamento dei legami idrogeno.

Dagli effetti primari suindicati, discendono, tutta una serie di effetti secondari che vanno ad interessare sia le proprietà delle fibre (volume specifico, superficie specifica, flessibilità, lunghezza), sia le proprietà del sistema acqua – fibre (resistenza al flusso, drenaggio, resistenza del foglio umido, resistenza alle tensioni di asciugamento), sia le proprietà della carta (area legata, densità, elasticità, energia di rottura, fattore di scoppio, resistenza allo sgualcimento e a trazione).

Il danneggiamento meccanico che viene provocato dalle lame del rotore e dello statore del raffinatore può giungere fino a distaccare completamente dalla fibra sia la parete primaria che la parte esterna della parete secondaria che costituiscono la superficie della fibra: si ha così la formazione di “fino”.

L'influenza del “fino” sulla scolantezza della pasta è notevole.

Il fatto che esso non venga trattenuto sulle tele usualmente impiegate, influenza notevolmente sia la misura della scolantezza (grado SCHOPPER – RIEGLER) che quella di superficie specifica, basata su misure di drenaggio.

Tra gli effetti secondari della raffinazione, una particolare rilevanza assume la cosiddetta “area legata”: questa è quella parte di area del foglio in cui le fibre sono in intimo contatto e formano legami che impartiscono le caratteristiche di resistenza meccanica al foglio stesso.

La successione dei fenomeni che portano alla formazione dell’area legata può essere così descritta: mano mano che la pasta viene raffinata, la superficie delle fibre si fibrilla, si formano il fino e frammenti di fibra, aumenta il rigonfiamento delle pareti.

Funzione peculiare della fibrillazione e del fino, nella determinazione delle resistenze, è quella di fornire più grandi forze di tensione superficiale nell’avvicinarsi delle fibre in modo che possa stabilirsi il legame.

Il crescente rigonfiamento delle fibre, durante la raffinazione, fa sì che la flessibilità delle stesse aumenti; da ciò avranno origine nuove forze di tensione durante l’essiccamento con la conseguente formazione di una più grande area legata.

E’ evidente che, mentre una notevole presenza di fino può far aumentare alcune caratteristiche della carta, per quanto riguarda la rigidità avviene il contrario. Altro fattore che incide in modo significativo su questa proprietà del foglio di carta è la ritenzione delle parti “fini”.

Si è infatti verificato che un aumento significativo della stessa o al limite, un suo mantenimento possa contribuire ad una maggiore costanza del contenuto di parti fini nella carta.

La ritenzione dei “fini”, deve essere precisato, è la quantità di carica minerale e di particelle fini (fibrille), che rimangono trattenute nel foglio (espressa in %), rispetto alla quantità introdotta nell’impasto.

Per aumentare la capacità di un impasto a trattenere una carica minerale ed i “fini”, esistono oggi degli ausiliari di ritenzione, utilissimi mezzi offerti dall’industria chimica.

In genere si tratta di sostanze che con l’acqua formano emulsioni colloidali che hanno notevole affinità con l’impasto fibroso e, nello stesso tempo, con il materiale di carica.

Per lo più si tratta di sostanze organiche altopolimeri a molecola lunga, gommose ed a viscosità elevata: piuttosto comuni sono i prodotti organici modificati, tra questi viene particolarmente utilizzato l’AMIDO CATIONICO che viene reso tale mediante operazioni di eterificazione, introducendo dei gruppi carichi positivamente, e quindi fortemente affini con la cellulosa che presenta invece un potenziale elettrocinetico negativo.

E’ chiaro che questa affinità aumenta con l’aumentare del grado di sostituzione; quindi è possibile utilizzare amidi più o meno cationici.

Queste sostanze, sono semi-sintetiche, e vengono prodotte tramite reazioni organiche che legano gruppi ammonio-quaternari alle catene polimeriche dell'amido, impartendo così una spiccata cationicità al composto finale.

La cationicità di questi composti derivati dall'amido, viene regolata dal "grado di sostituzione" che esprime la quantità dei gruppi ammonio quaternari che vengono legati alle catene dell'amido.

Ogni amido cationico così, a seconda del numero di legami con gruppi ammonio quaternari (e quindi in base alla concentrazione della carica cationica), trova un suo particolare impiego nella produzione della carta.

A basse concentrazioni (0,5 – 1 %) addizionato all'impasto, l'amido cationico viene utilizzato come ausiliario per la ritenzione; la sua carica cationica è utile per fissare i "fini" e tutte quelle particelle negative che altrimenti potrebbero perdersi nel sottotela.

Ad alte concentrazioni, (1 - 3 %) l'amido cationico viene invece utilizzato anche per esaltare l'"internal bond" tra le fibre ed in effetti, questo "cemento" caricato positivamente, esplica una forte azione legante tra le fibre dell'impasto e conseguentemente anche la carta prodotta risulterà più resistente allo "splitting" e sensibilmente più rigida.

Un altro intervento che sicuramente può dare un contributo per migliorare la rigidità della carta è quello di aumentare sulla macchina continua, la differenza di velocità relativa "getto/tela", in modo di favorire l'allineamento delle fibre all'interno del foglio e privilegiare l'orientamento delle fibre in direzione macchina.

Questa tecnica permette di diminuire la cosiddetta "quadratura" del foglio, esaltando invece le caratteristiche di resistenza in senso macchina, piuttosto che quelle in senso trasversale.

Se i valori delle specifiche richiesti dal capitolato possono consentire un tale intervento, si potrebbe sfruttare al meglio, l'impiego della fibra lunga nell'impasto.

Per aumentare la rigidità della carta infine, si potrebbe ricorrere anche ad un trattamento superficiale ad esempio, impiegando un amido ad alta viscosità o amido e CMC, (con una percentuale di solidi intorno al 7-8%), in modo tale da ridurre la penetrazione del trattamento all'interno del foglio.

Il trattamento così, restando in superficie e formando un film sottile, dovrebbe consentire una maggiore resistenza alle sollecitazioni di flessione, contribuendo al raggiungimento dei risultati prefissati.