NOTE SULLE MATASSE ELASTICHE ATTUALI

G. PELLICCIA

Parlare di gomma per matasse elastiche significa entrare in un campo scientifico molto complesso come è quello chimico relativo agli elastomeri, nome con il quale si intendono numerosissimi prodotti sintetici, o derivati per trasformazione da prodotti naturali, che posseggono proprietà elastiche simili a quelle della gomma.

In passato si sentiva spesso, specie su riviste estere, parlare di caucciù o gomma elastica, confondendo però questo, che è un prodotto naturale dotato di grande elasticità e plasticità, con il prodotto post-lavorazione industriale (procedimento di vulcanizzazione) che, perduta la plasticità, ha acquisito maggiore elasticità, caratteristica questa che lo rende idoneo per le matasse elastiche.

Per anni, in questo settore specifico, dominò un'industria italiana la *PIRELLI*, a cui facevano seguito, per piccole quote di mercato, l'inglese Dunlop e l'americana Brown.

Attualmente, per vari motivi, è presente sul mercato internazionale solamente l'industria americana di settore che produce la qualità di gomma nota con la sigla FAI TAN, associata ad un numero I ovvero II indicante non tanto la diversa composizione chimica, quanto la differente risposta (coppia e numero di giri) alla stessa sollecitazione, ovvero alla stessa carica impartita.

Per entrare nel vivo della trattazione è bene dare, sia pur sinteticamente qualche dato su questo tipo di gomma, avvertendo però che si tratta di questioni tecniche in continua evoluzione e che il produttore americano mister John Clapp sta tentando procedimenti chimici forieri di risultati decisamente più elevati di quelli, pur brillanti, attuali.

Ciò che sostanzialmente entra nell'elastico FAI TAN sia I che II è una particolare gomma sintetica rappresentata da un polimero del butadiene a cui, però, sono aggiunte altre sostanze come lo STIROLO che, togliendo l'eccessiva mollezza o cedevolezza del prodotto col solo butadiene, conferisce compattezza e regolarità di dimensioni.

Circa quattro anni orsono lo stirolo entrava in proporzioni di circa il 22%; oggi non raggiunge il 12 ÷ 15%.

Accanto a questo binomio o copolimero butadiene-stirolo, altri ne sono allo studio, il tutto per incrementare ancora di più il numero di giri assorbibili dalla matassa elastica e per diminuire le perdite energetiche interne dovute a fenomeni di isteresi, come più oltre chiarito.

I nuovi procedimenti fanno riferimento ad un copolimero con il nitrile acrilico (ottenibile per addizione di acido cianidrico all'acetilene); il prodotto che ne deriva ha un'elasticità leggermente inferiore al precedente sistema, ma presenta una resistenza meccanica più marcata, che si traduce in un momento torcente assai elevato ed in una pressochè nulla perdita energetica per fenomeni molecolari interni.

Molto probabilmente sarà la gomma FAI TAN del prossimo futuro, specie per i modelli ad elastico formula FAI-F1B, per i quali una possibile rottura di matassa dovuta a rapida crescita di coppia (e quindi di tensioni, oltrechè normali, anche tangenziali) è ben sopportabile dal tubo porta matassa, differentemente da quello che è facilmente intuibile per modelli formula OLD TIMER.

Per completezza è da ricordare anche il procedimento che i responsabili statunitensi stanno tentando al fine di conferire al prodotto finale non solo qualità di coppia bensì anche qualità di giri assorbibili.

In breve la strada chimica seguita è quella di fare avvenire la polimerizzazione del butadiene e dello stirolo non più con sodio metallico, bensì in emulsione acquosa, ottenendo un lattice che è poi lavorabile come quello della gomma naturale. L'aggiunta di determinate distanze quali ossido di titanio e solfuro di antimonio, per il tipico colore del FAI TAN, nonchè l'aggiunta necessaria per questioni complesse chimiche, anche se poi deleteria per l'energia sviluppabile, di cariche inerti, portano ad una gomma sintetica finale dotata di particolari requisiti.

L'attuale elastico FAI TAN è favorito, nelle sue qualità specifiche, da un incremento moderato della temperatura di lavoro, mentre è tutt'ora fortemente penalizzato da una temperatura di esercizio attorno ai 4 ÷ 5 °C. Se poi, per necessità, ci si trova con la matassa elastica (peggio che mai nel caso dei doppia matassa OLD TIMERS) ad operare a temperatura prossima od addirittura sotto 0 °C, occorre non perdere di vista che le proprietà elastiche si dimezzano e che le perdite d'energia dovute a complessi fenomeni molecolari interni aumentano di circa il 30%.

Questi sono dati rilevati costantemente, su una qualsivoglia delle sezioni nominali rette 1x3, 1x5, 1x6, sottoponendo la gomma FAI TAN II a sperimentazioni in camera termica presso i centri di ricerca citati a termine di queste righe.

È da ricordare che la gomma Pirelli presentava un comportamento quasi opposto, peraltro essendo molto più vulnerabile, per contenere maggiore percentuale di zolfo, sotto la sola azione degli agenti atmosferici.

Il semplice, ma micidiale meccanismo chimico era il seguente: lo zolfo della gomma si combinava con l'ossigeno dell'aria per dare anidride solforosa, che a sua volta con ulteriore ossigeno o presenza di raggi ultravioletti, specie di primo mattino, dava anidride solforica. Quest'ultima combinandosi con il vapor acqueo presente nell'aria produceva acido solforico di media gradazione,

tale però da scardinare la compattezza della superficie esterna della gomma. Era l'inizio della intaccatura del tessuto a cui poi seguiva una diffusione e quindi il cedimento (rottura) della struttura della gomma. In formule, rapidamente:

$$S + O_2 \rightarrow S\ O_2$$

$$S\ O_2 + 1/2\ O_2 \rightarrow S\ O_3$$

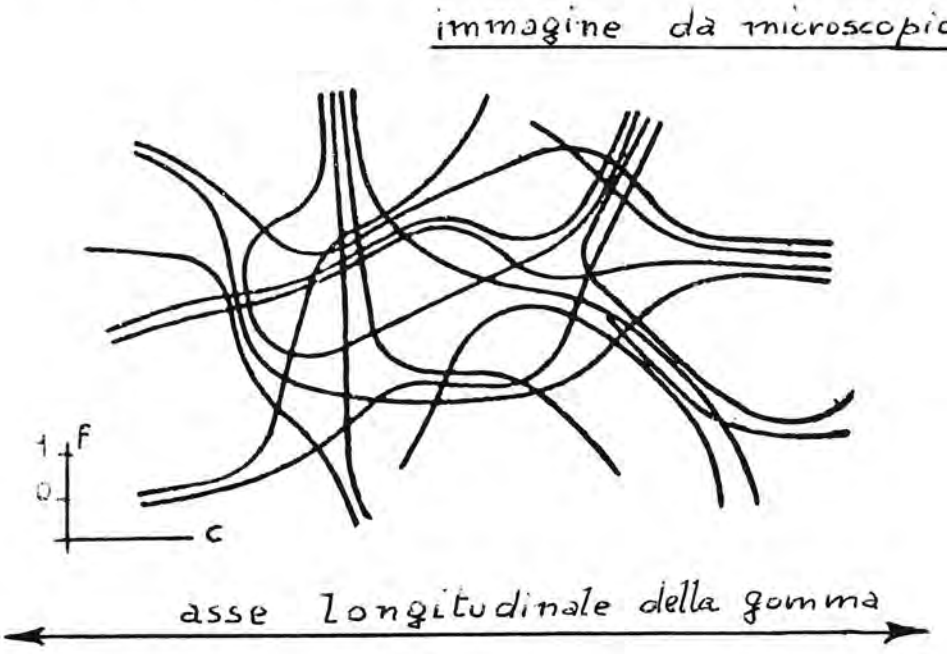
$$S\ O_3 + H_2\ O \rightarrow H_2S\ O_4$$

Nell'attuale gomma FAI TAN II questo deleterio fenomeno di ossidazione è ridotto a valori estremamente minimi e ciò comporta che, per qualsivoglia valore dimensionale, non si ha fragilità e perdita di elasticità.

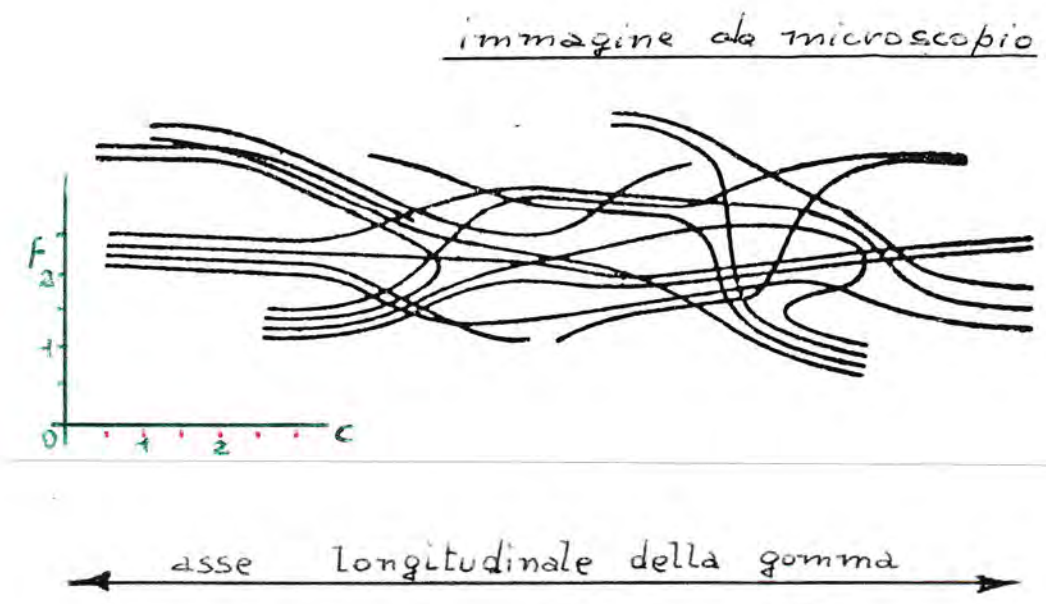
Solo con prove di FOTOELASTICITÀ si può mettere in evidenza questa caratteristica di notevole deformazione elastica, dovuta, di fatto, a presenza di lunghe molecole.

Qui di seguito si riporta la reale disposizione longitudinale delle molecole della gomma FAI TAN II sezione 1x6 nominale, prima non deformata, poi sottoposta a stiramento (allungamento) nel rapporto di 6:1.

La prova sperimentale è stata eseguita in ambiente avente temperatura di 20 °C e umidità pari al 45%:



a) gomma non deformata



b) gomma sottoposta ad allungamento 6:1

Il primo caso *a)* mostra che le lunghe catene molecolari non sono disposte linearmente, bensì che, per complessi fenomeni di repulsione, tendono ad essere a struttura contorta o raggomitolata, solo per brevi tratti correndo parallelamente tra di loro. In America si cerca, da brevissimo tempo, di «distendere» queste lunghe catene con l'uso, nelle mescole, di agenti chimici tipo carbonati di magnesio, ossidi di zinco e silicagel, sostanze che favoriscono minori forze di repulsione tra gli atomi di una stessa catena molecolare.

Se tutto questo avrà l'effetto sperato, si potrà contare, dati alla mano, su un incremento energetico per Kilogrammo di gomma di circa il 24 ÷ 26%.

Il secondo grafico *b)*, evidenzia che le singole molecole del FAI TAN II sotto l'azione di trazione tendono ad assumere la forma rettilinea. Questa è la disposizione migliore perchè la gomma immagazzini il massimo numero di giri possibile.

Nell'attuale elastico TAN non si è mai verificato il fenomeno di memorizzazione; in altri termini al cessare dello sforzo la matassa è sempre ritornata alla configurazione molecolare primitiva.

Ciò è una buona dote, perchè consente l'uso della stessa matassa per più lanci, beninteso sempre che non sussistano o siano subentrati difetti meccanici, tipo piccoli strappi sui bordi, microfori o evidenti slabbature che, tuttavia, denotano leggeri difetti d'origine e non sostanziali carenze di mescola.

Attualmente i regolamenti internazionali vietano il riscaldamento della matassa elastica durante la preparazione del lancio, tuttavia nulla vieta di operare un apprezzabile miglioria energetica, circa il 3%, proprio con un appropriato riscaldamento, in sede di composizione della matassa stessa.

Si tratta, da prove eseguite, di tendere la matassa, con quella certa sezione retta, nel rapporto di circa

2 : 1. In pratica raddoppiare la lunghezza, scaldando da 20 °C a 40 °C la gomma per un intervallo di tempo di circa 15 minuti, spostando più volte le zone di riscaldamento ed i punti di vincolo della matassa. Ciò consente di avere un passaggio termico distribuito sufficientemente in modo uniforme sulla gomma che distendendo le linee su cui giacciono le molecole del polimero, le predispone in quella che è la migliore posizione (rettilinea) per assorbire il massimo del numero di giri compatibile con la lunghezza totale della matassa e con la sua sezione retta reale.

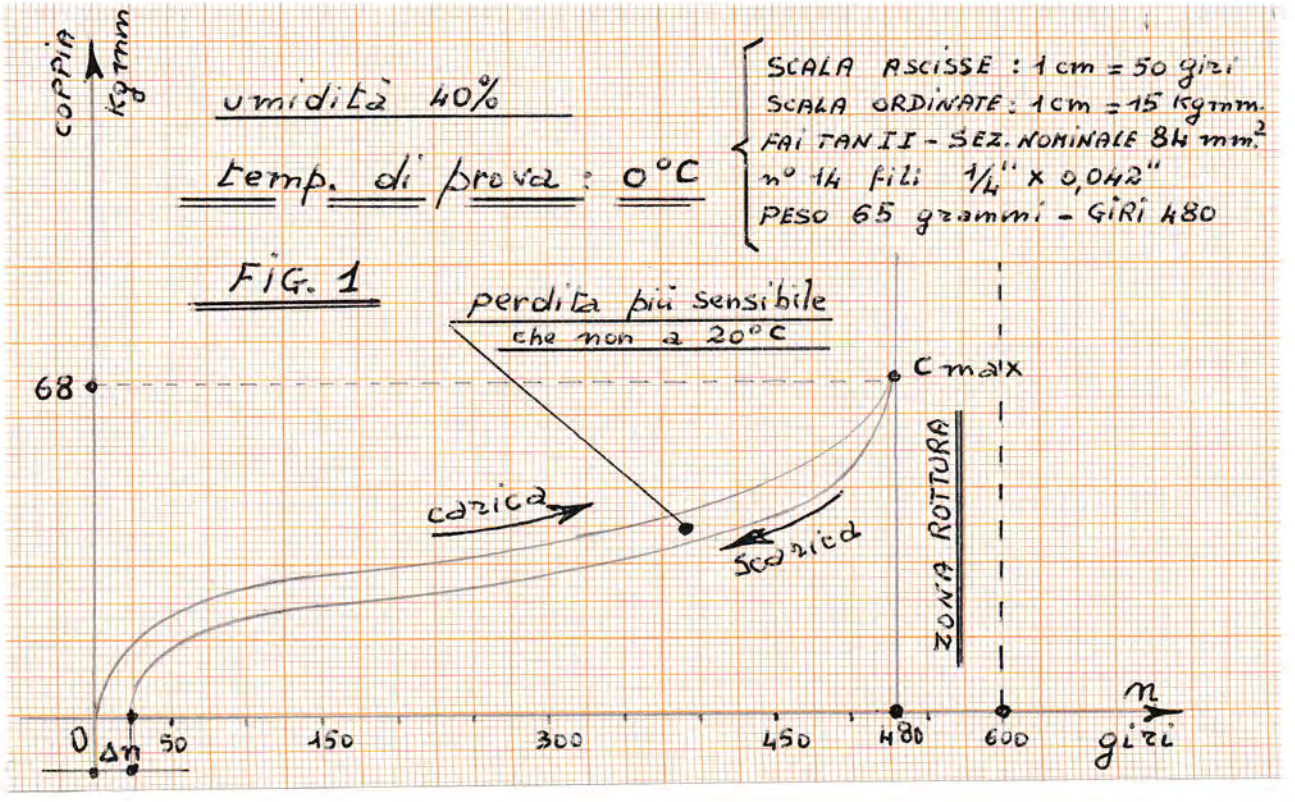
Oltre a questa positiva qualità il riscaldamento in sede di composizione della matassa consente anche di avere una distribuzione di coppia, all'atto della scarica, più uniforme o, se si vuole, meno variabile col numero di giri assorbiti dalla gomma.

Un'ulteriore proprietà sostanziale è che il ciclo di isteresi, ovvero la non coincidenza della curva di scarica con quella di carica nel piano coppia numero di giri, è praticamente ridotto a zero, e tale rimane anche se si tiene la matassa carica per un intervallo di circa 10 minuti.

I dati ed il grafico, che qui di seguito è allegato, fanno riferimento ad elastico FAI TAN II, con singola sezione retta nominale, (espressa in frazioni di pollice) $1/4^{II}$ x $0{,}042^{II}$, e con sezione totale di 14 fili, per un valore nominale di 84^2 mm di sezione retta.

La lunghezza di matassa siffatta è quella possibile per un peso totale di gomma pari a 65 grammi, preso come riferimento.

È immediato notare che l'area compresa tra le due curve, tipiche di ogni ciclo di carica e scarica, è assai ristretta e percentualmente trascurabile rispetto all'area sottesa dalla curva di scarica e dagli assi di riferimento.



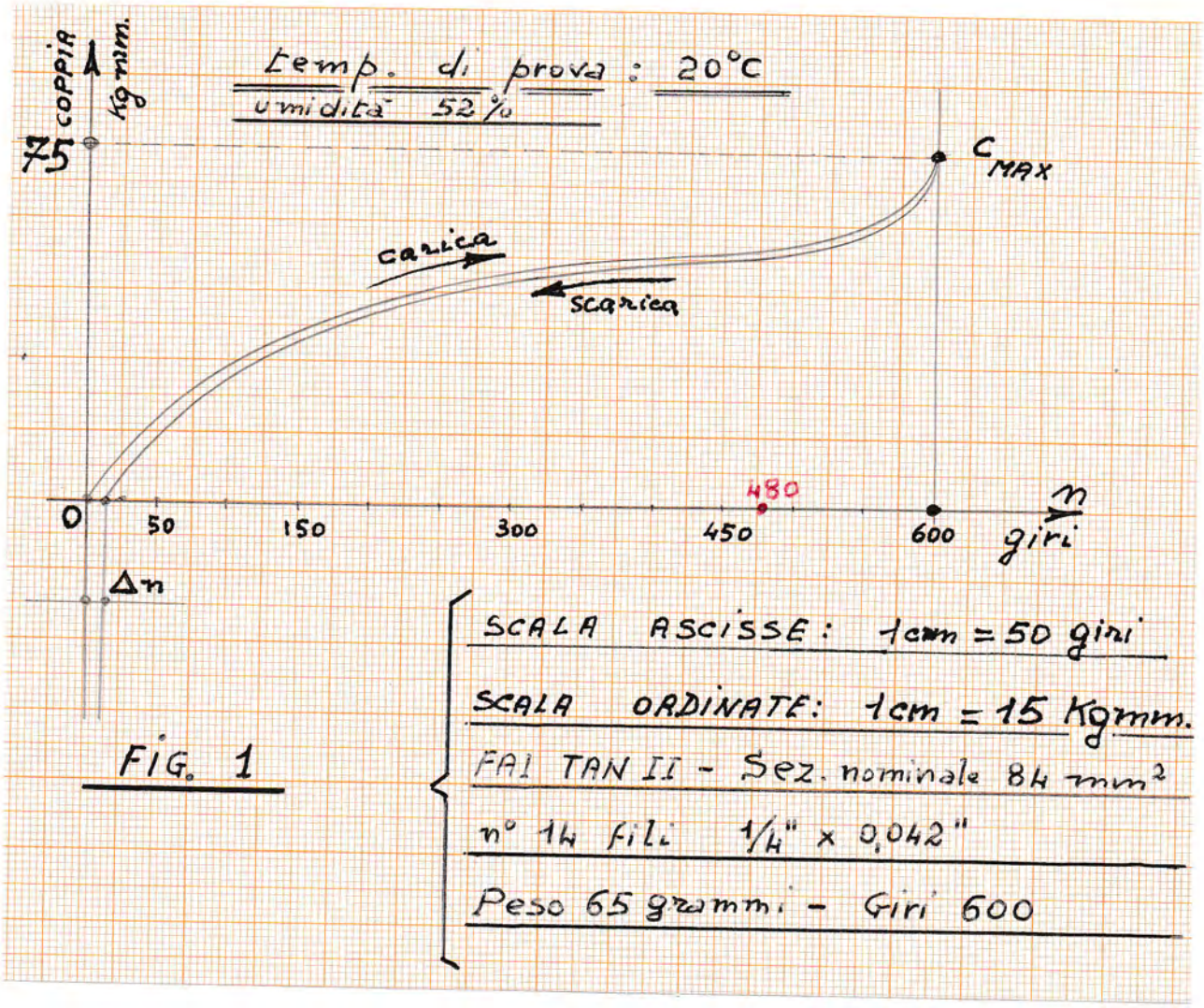


FIG. 1

In quanto esposto si fa notare che non entra in alcun modo il tempo sia di carica che, soprattutto, quello di scarica.

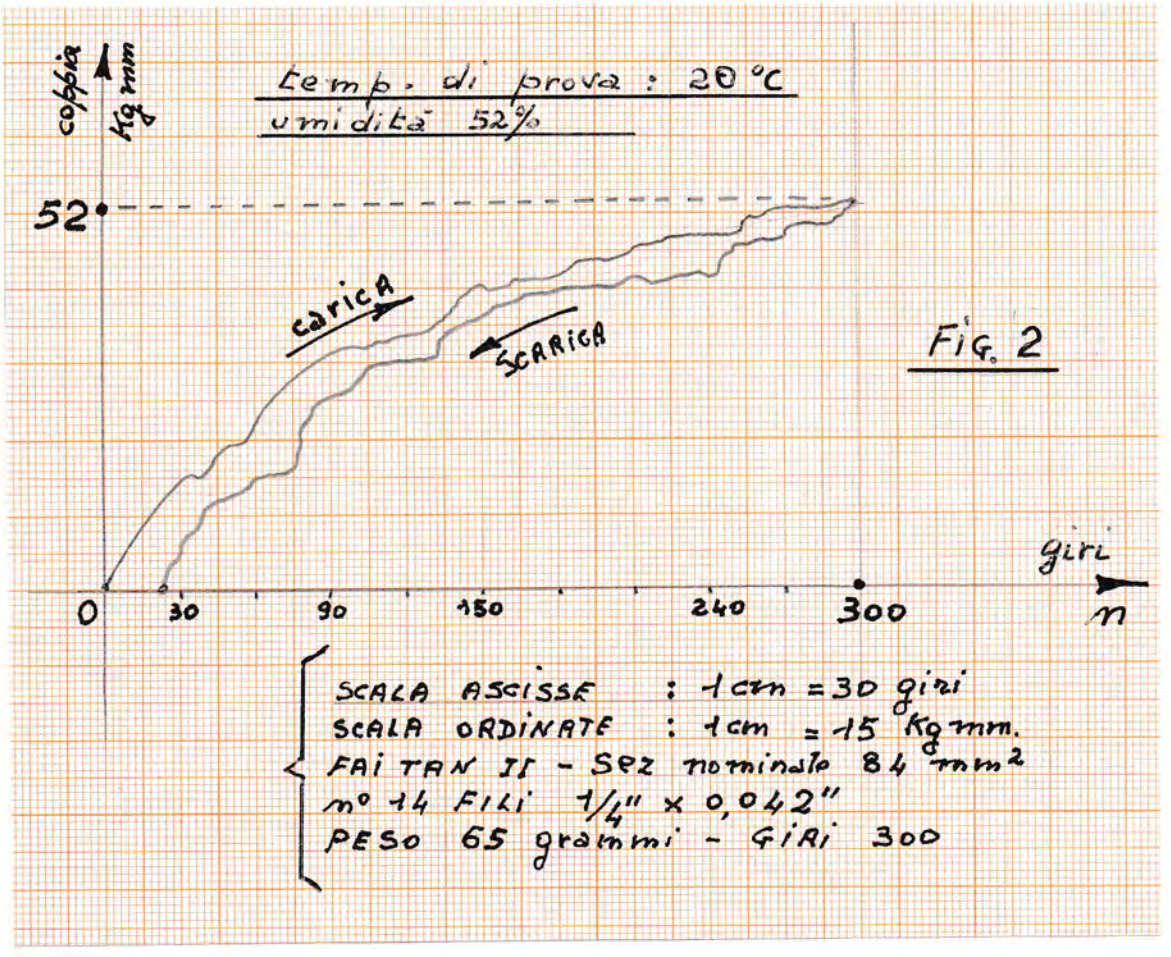
Non ha quindi alcuna influenza sia la modalità temporale con la quale si carica la matassa (velocemente o più lentamente), sia la durata di scarica dell'elica accoppiata.

È altresì di scarsa rilevanza la presenza di forte lubrificazione della gomma, salvo un minimo necessario, per questione di nodi più oltre trattata.

La perdita Δn di giri alla scarica, dell'ordine del 2%, è da attribuire alle resistenze di attrito meccanico tra i singoli fili della matassa; altre concause contribuiscono a tale [illegible] perdita, ma non irrilevante hanno rilevanza tecnica.

Per contro ha non poca importanza la modalità geometrica con la quale si carica la matassa e ciò è assai più rilevante per l'elastico attuale FAI TAN II (non ha influenza la sezione retta) di quanto non lo fosse per i Pirelli di un tempo.

In altri termini occorre tendere fortemente la gomma e caricare il più a lungo possibile all'esterno, cercando di evitare la formazione non dei nodi, ciò che è impossibile, ma l'aggrovigliarsi dei grumi dei nodi, che comporta una perdita energetica anche del 14 ÷ 16% nonchè una restituzione di energia irregolare come reso visibile dal diagramma reale, qui riportato:

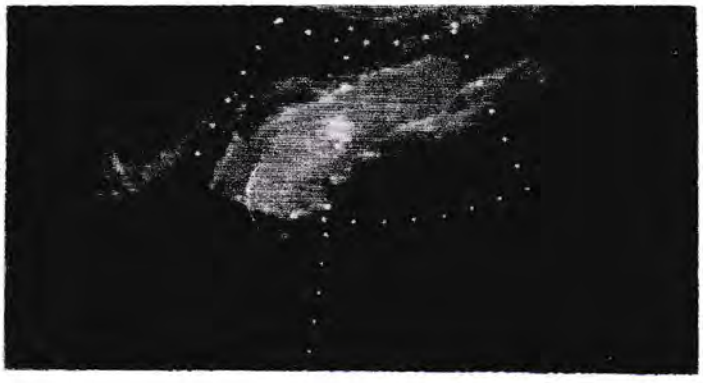


L'irregolare distribuzione della funzione C = C (n) sia in fase di carica che in quella di scarica è dovuta non solo alla già accennata formazione di nodi e di grumi di nodi, che per il forte attrito reciproco non consentono un regolare trasferimento di giri se non per una forma pseudoimpulsiva, ma anche a complessi fenomeni di attrito all'interno della struttura molecolare nonchè alla presenza, necessaria per questioni chimiche ma deleteria sul piano operativo (numero di giri assorbiti dalla matassa), delle cariche inerti costituite da carbonato di calcio, talco ed altre polveri minerali. La presenza di queste sostanze ha purtroppo come effetto quello di diminuire la sezione utile di passaggio delle linee di forza lungo le quali si trasmettono, durante la carica della matassa, sia gli sforzi di trazione che quelli di torsione (in pratica i giri impartiti dall'operatore) gli uni in contemporanea con gli altri.

Per fare un paragone, il tutto è assimilabile alla presenza di parziali intoppi (tipo grassi) all'interno dei condotti idraulici, arterie e vene, del corpo umano.

Il diagramma qui appresso riportato è un'ecografia eseguita su matassa elastica di 14 fili FAI TAN II con sezione singola di 1/4" x 0,042"; non ha alcuna influenza, nè importanza, la lunghezza della gomma:

FIG 3



Non sono state riportate le scale di lettura e gli assi di riferimento, perchè l'essenziale in questo tipo di analisi è il poter rilevare la presenza o meno di una occlusione sulla sezione retta del materiale in esame.

Dalle prove sperimentali, costantemente, ne è risultato che:

1) l'occlusione, che qui appare di colore grigio ~~~~ mentre nella fotografia originale è colore rosso-geranio, è mediamente del 6 ÷ 8% della singola sezione retta di 1/4" x 0,042";
2) l'occlusione si distribuisce, nell'ambito della superficie rettangolare del singolo filo di gomma, in modo casuale, mai però totalmente distribuita anularmente vicino ai quattro lati del rettangolo;
3) l'occlusione può oscillare dal valore minimo al massimo, ma è costantemente presente longitudinalmente. In altri termini è come se ad ogni filo di gomma venisse tolta, per tutta la sua lunghezza, un'area retta di (1/4" x 0,042") x 0,06, come valore minimo. Su una matassa di 14 fili, con sezione totale nominale pari ad 84 mm², ciò equivale ad avere una carenza di circa 5 mm² di sezione operativa. Ciò non è poca cosa e, per di più, impone sollecitazioni anomale sia per il restringimento della sezione utile ed in grado di sopportare e trasmettere gli sforzi, sia per le casuali variazioni di posizione longitudinale dei restringimenti, rispetto ai lati del rettangolo della singola sezione.

È bene fare presente che quanto sopra esposto è valido qualunque sia la dimensione unitaria (ovvero singolo filo) della gomma; si verifica tale occlusione sia su sezione nominale 1x6, 1x5, 1x3

Per raffronto, la stessa analisi ECO DOPPLER eseguita su gomma FAI TAN I, sezione nominale 1x6, ha fatto riscontrare un valore di perdita, di area utile, per occlusione pari a circa il 10%. Attualmente le ultime prove su gomma FAI TAN II proveniente dagli U.S.A. tramite John Clapp, attuale gestore del marchio *FAI MODEL SUPPLY*, hanno fatto riscontrare più volte un valore di perdita, in buona diminuzione, di circa il 4% medio. La gomma ha fatto realmente un miglioramento, in termini energetici, di circa il 10% rispetto alle ultime partite a tutto il 1996.
Un'analisi ad ultrasuoni può mettere in evidenza quanto sopra esposto. Il diagramma che qui appresso si riporta fa riferimento a prova eseguita su FAI TAN II pervenuto nel Dicembre 1996. Non ha avuto influenza il valore nominale della sezione retta del singolo filo:

FIG. 4



Le aree scure, all'interno dei triangoli delimitati dalle striscie bianche, sono la prova concreta della presenza di occlusione dovuta alla presenza delle cariche inerti nella massa gommosa.
La stessa analisi eseguita su gomma FAI TAN II, pervenuta nella 1ª decade di Gennaio 1997, mostra un diagramma assai più favorevole, in grazia delle assai ridotte aree scure all'interno dei triangoli in questione:

FIG. 5

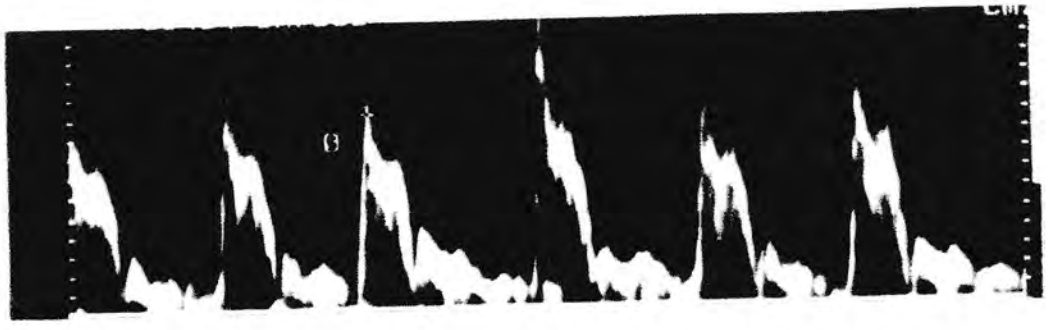


Vale la pena ricordare che con l'attuale gomma FAI TAN II è opportuno, in sede di snervamento della matassa, limitarsi alla sola azione di tensione in un rapporto di circa 6:1, da raggiungere progressivamente facendo variare le posizioni di vincolo fisso e mobile.

Se si associa alla tensione anche la torsione, sempre in sede di snervamento, si ottiene una deleteria diminuzione di energia resa in fase di scarica, a causa di una pessima distribuzione dell'area di occlusione (Fig. 3) sui bordi esterni della sezione rettangolare 1x6 nominale.

La cosa è resa visibile mediante analisi ad ultrasuoni; il diagramma qui riportato è esplicativo di quanto sopra esposto:

FIG. 6



Le grandi aree colore nero interne, racchiuse dalle zone bianche di forma variegata, nonchè i picchi di risposta agli ultrasuoni, denotano difficoltà di passaggio energetico lungo l'asse longitudinale, ossia lungo la matassa.

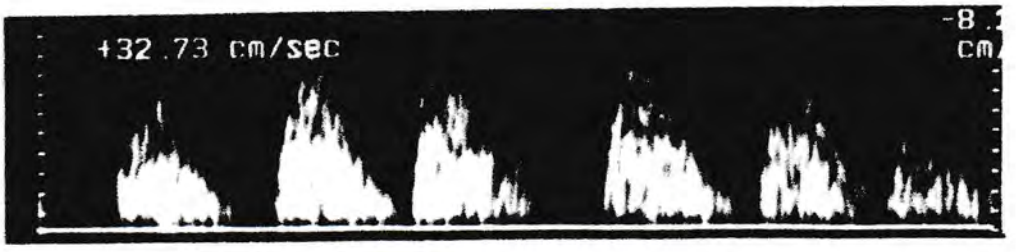
Questo stato di cose, dovuto a tensione associata a simultanea torsione, si memorizza nel complesso sistema molecolare e tende sempre più a generare perdite energetiche.

La sola trazione, in fase di snervamento, non causa variazioni di area occlusiva (Fig. 3) e neppure variazioni di posizione rispetto ai bordi della gomma.

La gomma, prima e dopo lo snervamento, conserva le stesse caratteristiche ed il solo stiramento ha sperimentalmente mostrato che il FAI TAN II può essere successivamente ritorto (ossia subire forte azione di torsione) senza memorizzarsi e perdere qualità energetica.

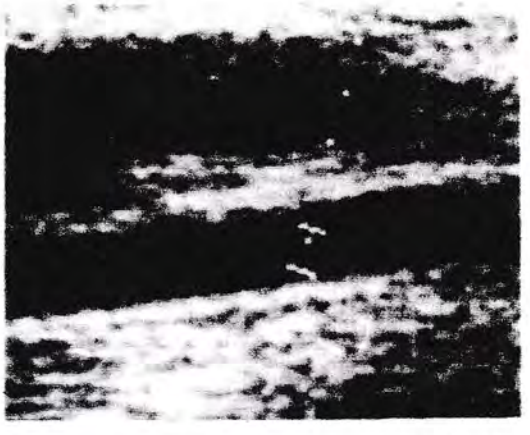
L'analisi ad ultrasuoni evidenzia in questo diagramma, eseguito dopo violenta carica a matassa di 65 grammi, 14 fili di 1x6 nominale FAI TAN II caricati a 640 giri, che il passaggio energetico attraverso la sezione retta del singolo filo è buona ed anche regolare come mostra l'assai ridotta percentuale di area nera rispetto alla preponderante zona bianca, indice di ottima trasmissibilità energetica:

FIG. 7



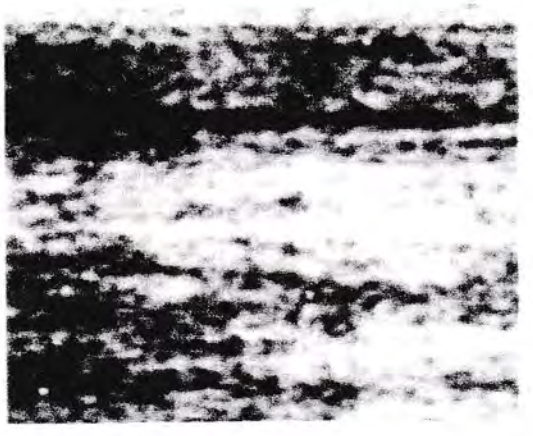
A titolo puramente esplicativo si riportano qui di seguito le radiografie eseguite su due matasse, della stessa partita FAI TAN II e di identica composizione 14 fili 1x6 nominali di 65 grammi in peso, provenienti da snervamenti diversi:

FIG. 8



TRAZIONE + TORSIONE

FIG. 9



TRAZIONE

È evidente, nel caso trazione + torsione, lo sfibramento della gomma, che non darà poi l'energia voluta.

Per contro lo snervamento solamente a trazione conserva un'assai migliore struttura ed una compattezza, sì che il materiale è in grado di ricevere e restituire l'intero stock energetico ricevuto dall'operatore.

Quanto sopra, di fatto, si traduce nel dire che l'energia restituita ha una diretta influenza sull'altitudine raggiunta dal modello nonchè sul suo tempo di volo.

Attualmente le migliori matasse elastiche di FAI TAN II, ben si intende prive di difetti meccanici e di buona esecuzione come costanza di dimensioni, consentono un valore di energia, rapportata al peso di gomma in questione, pari a circa 1800 Kgm./Kg..

Personalmente, in via puramente sperimentale, ho registrato anche valori più elevati tipo, circa, 1920 Kgm./Kg., ma la temperatura di prova pari a 20 °C nonchè l'umidità pari a 35% (valore molto basso rispetto al normale) impongono cautela. Inoltre tale valore è stato rilevato solo su gomma con sezione nominale 1x5. Per informazione, ho riscontrato, quasi sempre, valori piuttosto scarsi su gomma di sezione nominale 1x3, rispetto a quelli di 1x6. Tali valori oscillano da 1600 a 1680 Kgm./Kg.

Ciò dipende probabilmente da differenti mescole od anche da procedimenti termici meno appropriati. Un forte incremento, stimabile in un buon 15%, sarebbe possibile con sezione di gomma ellittica. Ciò per ragioni sia meccaniche (minori attriti per incastri di spigoli) sia chimico-molecolari (migliore distribuzione delle lunghe catene del polimero).

Attualmente vi sono difficoltà operative varie, ma John Clapp mi ha assicurato che la cosa verrà messa in primo piano quanto prima.

Molti altri diagrammi e dati sarebbero da riportare, ma ciò sarà eventualmente materia di memoria futura. Qui richiamo solo quanto già ricordato:

- l'elastico FAI TAN I e, in particolare, FAI TAN II è bene (se lo si vuole) snervarlo SOLO A TRAZIONE.

  Poca importanza ha, (pur dovendolo essere), la lubrificazione.

  Nelle sperimentazioni ho sempre fatto uso di silicone ad alta scorrevolezza, ma rispetto ad altri lubrificanti a base di olio di ricino o glicerina pura, non ho riscontrato alcun vantaggio;
- l'elastico FAI TAN sia I che II mal sopporta la bassa temperatura, mentre, al contrario tende a miglior resa con temperature attorno ai 30 ÷ 40 °C;
- l'elastico FAI TAN, in fase di snervamento, necessita di un'omogenea azione di rotazione dei punti di vincolo fisso e mobile.
- Le modalità di carica (veloce o lenta) non hanno effetto significativo sull'energia resa alla scarica, tuttavia una carica non troppo veloce consente alle catene molecolari di predisporsi meglio al progressivo sforzo combinato di trazione e torsione, rendendo energia alla scarica con un andamento nel tempo più favorevole per il rendimento dell'elica. Per brevità non si riportano i diagrammi del caso, che tuttavia confermano quanto sopra.

A conclusione faccio notare che il diagramma C = C (n) di Fig. 1 è stato ricostruito, rispettando i dati reali sperimentali, attenendosi al concetto di aree (ovvero energie) identiche racchiuse tra le curve e gli assi di riferimento. I diagrammi sperimentali sono tutti ad andamento irregolare come in Fig. 2; l'integrazione delle aree suddette consente, però, di presentare diagrammi continuativi, che differiscono dal reale solo per i valori istantanei di coppia, non per il valore finale (carica ultimata).

Le immagini da microscopio, le analisi radiografiche nonchè le fotografie in sistema ad ultrasuoni e in tecnica Eco Doppler sono state eseguite presso l'Istituto di Fisica Max Plank a Monaco di Baviera, mentre i diagrammi su carta millimetrata sono stati rilevati su apparecchiature presso l'Istituto di Scienza delle Costruzioni di Bologna.

G. Pelliccia