

PAOLO MALTESE *

La «Gomma del Governo»: storia di una straordinaria impresa industriale **

“Government Rubber”: History of an extraordinary Industrial Enterprise.

Summary – After the discovery of rubber vulcanization (1839) and the invention of the internal combustion engine (1885), natural rubber, produced in the Far East plantations, was increasingly used in the motorization industry. Because of natural rubber great abundance, the United States did not start an industrial production of synthetic rubber until they were compelled to by the Japan occupation of the Far East territories in december 1941. Starting from the information acquired on synthetic rubber by a former joint venture with the German I.G. Farbenindustrie (1930), the United States in an unprecedented industrial effort were able to build up 51 plants from nil in only 18 months (12 years in peace time!) at a total cost of 700 million USD, under government property (G R-S: Government Rubber-Styrene). This tremendous achievement was only possible because of the joint efforts of fundamental and applied research (18 Universities, 29 industrial and 6 private laboratories), and put the basis for the modern petrochemical industry.

Introduzione

Il 27 giugno 1942 il presidente degli Stati Uniti, F.D. Roosevelt, parlò alla radio alla nazione, e rivolse al popolo americano l'urgente appello di consegnare tutti gli oggetti in gomma usati disponibili: con lo scoppio della guerra, sei mesi prima, gli Stati Uniti erano stati completamente tagliati fuori dalla fornitura di gomma naturale dai paesi dell'Estremo Oriente occupati dal Giappone, e disponevano come produzione propria di appena 8.400 ton/a di elastomeri di sintesi, a fronte di un consumo di 600.000 ton/a in tempo di pace, di 1.000.000 di ton/a nelle condizioni critiche di una guerra.

* Villaggio Polymer, 15 - 05100 Terni.

** Relazione presentata all'VIII Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (Arezzo, 28-30 ottobre 1999).

L'appello diede c.a. 300.000 ton di gomma recuperabile e fu seguito da altre consegne, ma questo materiale sarebbe stato del tutto insufficiente per sostenere una lunga guerra su due vastissimi fronti.

Le parole di Bernard Baruch, Presidente del Comitato per la Gomma, che seguirono a breve distanza non lasciarono ombra di dubbio: «Se noi non saremo in grado di produrre rapidamente una grande quantità di gomma di sintesi il nostro sforzo bellico e la nostra economia andranno al collasso» [1-3].

La storia di come gli Stati Uniti siano pervenuti ad una simile situazione e di come l'abbiano superata è la storia di gravissimi errori di valutazione politico-strategica, ma è anche la storia della più grande impresa di chimica industriale di tutti i tempi [4, 5].

La gomma naturale

Di ritorno dal Nuovo Mondo Colombo portò un nuovo materiale ottenuto dal lattice di una pianta che gli indigeni dell'Amazzonia chiamavano «Cahutchu» («legno piangente»), che aveva proprietà elastiche ma che acquistò importanza industriale soltanto 300 anni dopo, a seguito della scoperta casuale della vulcanizzazione (C. Goodyear, 1839) [6].

Da quel momento la crescente applicazione industriale del nuovo materiale e gli interessi europei in Estremo Oriente spinsero gli inglesi a trapiantare i semi della pianta («*Hevea Brasiliensis*») dall'Amazzonia a Ceylon, e a razionalizzare la cultura delle piantagioni e la raccolta del lattice (H. Wickam, 1876; H. Ridley, 1888) in una vasta area (Indie Orientali Olandesi, Sumatra, Malacca, ecc.) [6-8].

Con la scoperta del petrolio negli Stati Uniti (1859) e la fabbricazione del motore a scoppio (1885) aveva inizio a fine secolo decimonono la motorizzazione con grande richiesta di gomma naturale. La formazione dello «Stevenson Restriction Scheme» (Cartello della Gomma Inglese) all'inizio degli anni venti di questo secolo spinse gli Stati Uniti, divenuti i più grandi consumatori di gomma (75% della produzione mondiale dopo la Prima Guerra) ad estendere le piantagioni di gomma in altre aree (Panama, Costa Rica, Liberia, Filippine) ma essi rimasero comunque totalmente dipendenti dall'estero e soprattutto dall'Estremo Oriente fino all'inizio delle ostilità col Giappone (1941).

La gomma sintetica

A seguito delle ricerche di Faraday, che nel 1826 aveva attribuito alla gomma naturale la formula (C₅ H₈), e di Williams, che nel 1860 aveva individuato nell'isoprene (C₅ H₈) il costituente della gomma naturale [9], Tilden ottenne nel 1884 un elastomero identico alla gomma naturale partendo dall'isoprene. L'isoprene non era

però agevolmente ottenibile per sintesi, e d'altra parte l'abbondanza della gomma naturale sul mercato non ne rendeva necessaria una produzione per sintesi, almeno per tutti quei paesi le cui economie si basavano su grandi flussi di approvvigionamenti via mare.

Ben diversa era la situazione in Europa: Russia e Germania preoccupate di un possibile blocco delle forniture avevano già da anni puntato sulla sintesi chimica della gomma: la Russia aveva polimerizzato il butadiene (Lebedev, 1910) mediante sodio come catalizzatore; la Germania durante la Prima Guerra mondiale, aveva polimerizzato il dimetilbutadiene («Gomma Metile») [10], con tempi di polimerizzazione di 2-6 mesi, e ne aveva prodotto in totale appena 2.350 ton., con proprietà così scadenti da decretarne la fine alla fine delle ostilità.

Nel 1926, a seguito dell'aumento del prezzo della gomma naturale (piano Stevenson) l'industria tedesca riprese gli studi sugli elastomeri di sintesi (I.G. Farbenindustrie) [9], inizialmente mediante catalisi anionica del butadiene a base di sodio in solvente (Buna), e successivamente mediante catalisi radicalica (perossidi) in emulsione; quest'ultimo processo risultò preferito a partire dal 1927 [11].

Tuttavia le caratteristiche della gomma ottenute erano molto scadenti dal punto di vista della processabilità e delle prestazioni, e quindi si optò per la copolimerizzazione: per l'applicazione nel settore della motorizzazione il copolimero con lo stirolo diede i migliori risultati (Buna-S.) [11, 12]. Con l'avvento del regime nazionalsocialista la Germania, puntò ad una totale indipendenza dall'estero nel settore della gomma sintetica, e l'impegno nella sperimentazione ai livelli di ricerca, produzione e applicazione portò ad un notevole successo nel 1938. Altri importanti risultati si ottennero con la Buna-N (copolimero butadiene-acrilonitrile) per applicazioni speciali (resistenza agli oli e grassi), e con il poliisobutilene (1931) ottenuto mediante catalisi cationica dell'isobutilene (floruro di boro) a bassa temperatura ($-75 \div -100^\circ \text{C}$) [13]. Il poliisobutilene non era, però, vulcanizzabile, e pertanto nel 1937 fu copolimerizzato con un diene (butadiene, isoprene), dando così un polimero vulcanizzabile («Gomma Butile») che risultò adatto per camere d'aria data la sua elevata impermeabilità ai gas (1942).

Negli stessi anni Staudinger, lavorando sulla gomma naturale, introdusse i principi della chimica macromolecolare (1925) mentre Mark e Guth, elaborarono la celebre equazione di stato relativa alla elasticità entropica della gomma (1934) [14, 15]: pertanto l'industria tedesca degli elastomeri di sintesi ricevette da questi lavori scientifici un imponente supporto alla ricerca applicata.

Negli anni '20-'30 la ricerca chimica in Germania non si limitò ai risultati sopra esposti, che avrebbero avuto imponenti conseguenze sull'intera economia mondiale, ma puntando sulla propria abbondanza di carbone mise a punto su scala pilota, e successivamente su scala industriale, due sintesi rivoluzionarie degli idrocarburi petroliferi a partire dal carbone: il processo Bergius di idrogenazione del carbone (1913), e il processo Fischer-Tropsch di gasificazione del carbone, e produzione di idrocarburi dal gas di sintesi ottenuto ($\text{CO} + \text{H}_2$) (1922) [16].

L'accordo Standard Oil - I.G. Farbenindustrie

L'insieme degli eventi che portarono a introdurre negli Stati Uniti due dei più grandi risultati della ricerca chimica tedesca ha radici lontane. Nella primavera del 1925 la Standard Oil (Stati Uniti) ricevette una richiesta di visita dei suoi impianti petroliferi da parte di una delegazione tedesca della I.G. Farbenindustrie: in quel momento era infatti intenzione della Germania di rendersi indipendente dal petrolio mediante produzione di idrocarburi dal carbone [2]. Questo fu l'inizio di una serie di incontri e di visite reciproche che evidenziarono alcuni punti essenziali:

1) L'eccellenza dei risultati della ricerca chimica tedesca condotta con grandissimo impegno di mezzi e di personale, in base alla quale si poteva ottenere petrolio da qualsiasi fonte di carbonio organico;

2) La possibilità di incrementare fortemente la produzione di idrocarburi leggeri (benzina), in continua e crescente richiesta, mediante idrocracking delle frazioni pesanti del petrolio, specialmente in considerazione del fatto che gli Stati Uniti ritenevano allora di avere riserve di petrolio soltanto per altri sette anni;

3) La decisione della Standard Oil di creare un importante complesso di ricerca sulla idrogenazione delle frazioni pesanti del greggio, basato su ricerche chimiche di laboratorio e loro applicazione in impianti pilota: una struttura chimico-ingegneristica (1927) che si sarebbe rivelata preziosa negli anni della crisi;

4) Le imponenti dimensioni dell'industria del petrolio ridimensionarono alquanto le idee tedesche relative ad una illimitata estensione della sintesi del petrolio dal carbone.

Gli incontri, le visite reciproche e le trattative proseguirono per vari anni e si conclusero con un accordo generale (1929-1930) con la costituzione di una società mista, la Joint American Study Company (JASCO) (50-50%) per lo studio e lo sviluppo di nuovi prodotti e processi del petrolio. L'accordo prevedeva anche l'estensione ad altri prodotti fra i quali la sintesi degli elastomeri [1, 2].

La crisi del 1929, la scoperta di nuovi immensi giacimenti di petrolio nel Texas, e il crollo del prezzo della gomma lasciarono la situazione ferma per alcuni anni; ma verso la fine degli anni '30 il deterioramento della situazione mondiale avrebbe trasformato la JASCO nel punto focale per lo sviluppo della gomma di sintesi negli Stati Uniti.

Gli anni della crisi: 1941-1942

Verso la fine degli anni '30, con l'aggravarsi della situazione generale in Europa e in Estremo Oriente, alcuni settori militari statunitensi manifestarono interesse verso la gomma di sintesi per pneumatici sperimentata da cinque industrie del ramo di cui iniziava negli Stati Uniti una modesta produzione su scala pilota.

La caduta della Francia nel giugno 1940, pose, sia pure tardivamente, in movi-

mento alcune strutture governative americane, e nell'agosto 1940, mentre l'Inghilterra combatteva uno scontro epico contro il blitz aereo tedesco, venne avanzato un piano di produzione di 100.000 ton./a di gomma di sintesi presso dodici società del settore, con un impegno di cento milioni di dollari a carico dello Stato. Tuttavia la previsione fu quasi subito ridotta a 40.000 ton/a su quattro impianti da 10.000 ton/a ciascuno, posto che il Governo non poteva finanziare il piano per più di 25 milioni di dollari (75% del costo). Questa decisione riduttiva fu una decisione politica e fu almeno in parte dovuta alla fiducia degli Stati Uniti nella propria potenza militare, in parte al timore di una reazione negativa anglo-olandese nei confronti di un eventuale cartello americano della gomma, in parte alla fiducia in una politica di risparmio e recupero delle proprie riserve di gomma: idee non condivise né dall'industria né dalle sfere militari, in quanto in tal modo si sottovalutava la crescente pericolosità della situazione all'inizio del 1941 con la guerra già in corso in Europa da due anni e col deterioramento progressivo dei rapporti col Giappone.

Continuando a perseverare nell'errore, all'inizio del 1941 (20 febbraio) un memorandum di origine governativa dichiarò che «ancorché tagliati fuori da qualsiasi fornitura di gomma gli Stati Uniti ne avevano una riserva sufficiente per 3 anni», e quindi un mese dopo (28 marzo 1941), fu deciso che i quattro impianti previsti da 10.000 ton/a avrebbero dovuto produrre soltanto 2.500 ton/a ciascuno: e fu soltanto per le pressioni dei tecnici che nell'ottobre del 1941 fu ripreso il piano dei quattro impianti da 10.000 ton/a, già varato un anno prima, e ancora in fase di progetto: un anno era stato irrimediabilmente perduto, malgrado la guerra in Europa avesse assunto dimensioni gigantesche con l'invasione tedesca della Russia nel giugno 1941 [2].

Nel dicembre 1941 con una improvvisa e fulminea offensiva [17] il Giappone condusse due attacchi devastanti sulla flotta americana ancorata a Pearl Harbour e sulla flotta inglese in movimento da Singapore; contemporaneamente occupò tutta l'area dell'Estremo Oriente dove, fra l'altro, sorgevano le piantagioni per la produzione della gomma naturale: qualsiasi fornitura di questo prezioso materiale risultò preclusa; Ceylon, India, America latina ne potevano fornire non più del 10% del necessario. La pianificazione della produzione della gomma sintetica negli Stati Uniti subì un primo balzo in avanti dopo il disastro di Pearl Harbour: già il 20 dicembre 1941 si passò da 40 a 120 mila ton/a e subito dopo a 400 mila; dopo il disastro di Singapore a 600 mila (3 marzo 1942) e infine a 900 mila (21 aprile 1942). Le restrizioni al consumo della gomma furono drastiche: la velocità dei veicoli su strada fu imposta a 35 miglia/ora; fu istituito il controllo dello stato di usura dei pneumatici; la gestione delle riserve di gomma fu posta sotto controllo federale.

La reazione del pubblico

L'opinione pubblica americana inizialmente non ebbe la sensazione che l'attacco a Pearl Harbour avesse tagliato fuori il paese dalla fornitura di gomma natu-

rale e avesse posto in una gravissima crisi il trasporto su gomma su cui si basava gran parte dell'economia americana: si sperava ancora nella forza del dispositivo navale anglo-americano; ma a poco a poco si comprese l'entità del disastro, e l'umiliazione per la grave sconfitta e il timore per i pericoli incombenti provocarono nell'opinione pubblica una violenta reazione verso tutto ciò che aveva portato ad una simile situazione. Fu anzitutto lanciato un duro (e del tutto ingiustificato) attacco contro il pool degli industriali che si erano associati per la produzione della gomma sintetica, sulla base della legge anti-trust, e fu necessario l'intervento del Presidente per bloccarlo (marzo 1942). Un nuovo attacco fu sferrato, (altrettanto ingiustamente) contro la Standard Oil, accusata di avere realizzato un cartello con l'industria tedesca per monopolizzare l'industria del petrolio e della gomma, provocando la totale impreparazione del paese in quel settore vitale. Altrettanto dura fu la reazione della comunità tecnico-scientifica che invitò tutti i gruppi interessati a smettere di baloccarsi e a confluire senza indugio nel programma per la produzione della gomma sintetica. Contemporaneamente l'eccedenza di produzione del frumento e la inevitabile crisi del prezzo, attirò l'attenzione del Congresso sul fatto che il grano eccedente si poteva fermentare ad alcool e dall'alcool si poteva ottenere il butadiene: fu pertanto varata una legge in base alla quale butadiene e gomma si dovevano produrre in impianti situati presso le aziende agricole che avrebbero dovuto risponderne direttamente al Congresso (22 luglio 1942).

Di fronte a questa gravissima situazione il Presidente inviò al Congresso un messaggio di veto rispetto alla legge appena emanata (6 agosto 1942), e pur riconoscendo che errori erano stati commessi nominò un Comitato costituito da personaggi eminenti come B. Baruch, Presidente, ex responsabile della mobilitazione dell'industria americana durante la Prima Guerra Mondiale, J. Conant, chimico, presidente della Harvard University e il fisico Premio Nobel A. Compton, Presidente del MIT (vice presidenti). Il Comitato Baruch nominò 25 fra i più prestigiosi esperti degli Stati Uniti fra i quali famosi nomi dell'Università e dell'Industria, e condusse un'indagine a tutto campo che in un solo mese, il 10 settembre 1942, presentò un rapporto accuratissimo ed un piano dettagliato di produzione degli elastomeri sintetici (Tabella 1). Il progetto gomma divenne proprietà del Governo che finanziò gli impianti, la ricerca, i brevetti: di qui il nome di Gomma del Governo (GR-S = Government Rubber-Styrene).

Una nuova industria

All'inizio del 1943 la situazione della gomma era ancora confusa: il programma era gigantesco ed estremamente complesso; vi partecipavano 65 industrie principali oltre a decine di industrie minori ed una vastissima rete di trasporti; tuttavia a metà 1943 i 51 impianti, sorti praticamente dal nulla, erano già funzionanti e la grande impresa iniziava ad operare. Questa impresa industriale è stata confrontata, come

Tabella 1 - *Piano Baruch per la produzione annuale di elastomeri sintetici negli Stati Uniti durante la seconda guerra mondiale* (10 Settembre 1942) [3].

PRODOTTO	TON/ANNO equivalenti di BUNA-S	PROCESSO
1) Butadiene	242.000	Alcool (Union Carbide)
2) Butadiene	50.000	Gas naturale (Phillips Petroleum)
3) Butadiene	16.000	Butano (Houdry)
4) Butadiene	283.000	Butene (Cracking petrolio: Standard Oil)
5) Butadiene	20.000	Cracking gas e idrocarburi (processo di conversione termica o di raffineria)
6) Butadiene	93.000	4) + 5)
Totale BUNA-S	705.000	
Neoprene	49.000	
Gomma Butile	132.000	
Totale elastomeri sintetici	886.000	

complessità di pianificazione, coordinamento ed esecuzione, col D-Day, cioè con l'operazione dello sbarco alleato in Normandia il 6 giugno 1944: dai giorni bui di Pearl Harbour erano passati solo diciotto mesi per l'avvio e trenta mesi per l'equilibrio fra produzione e richiesta; in tempi normali sarebbero stati necessari dodici anni.

Nella figura 1 relativa alla situazione della gomma negli anni 1941-45 negli Stati Uniti, la curva 1 indica la fortissima caduta della fornitura di gomma naturale dal 1941 in poi; la curva 2 dà la produzione della gomma riciclata, che nel 1942-43 è stata una risorsa fondamentale, assieme alla scorta di gomma naturale in rapido consumo; la curva 3 indica la forte crescita della produzione di gomma sintetica a partire dal 1943, mentre la curva 4 indica la crisi di disponibilità negli anni critici

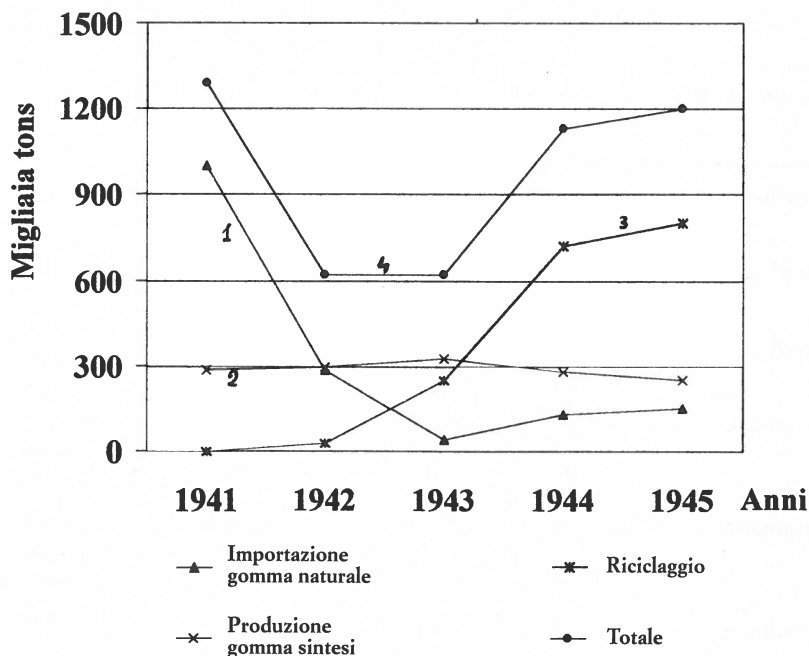


Fig. 1 - Stati Uniti 1941-45.

1942-1943, nei quali le scorte di gomma naturale, il riciclaggio e l'inizio della produzione di gomma sintetica evitarono il disastro.

Nel 1941 e 1942 non si ebbe alcuna produzione dei monomeri butadiene e stirene; nel 1943-44 malgrado la sviluppatissima industria petrolifera il principale contributo alla produzione di butadiene fu dato dall'alcool (processo Union Carbide) a sua volta ottenuto per il 65% da fermentazione di melasse, per il 15% dal grano, per il 20% da sintesi: la produzione di alcool industriale negli Stati Uniti era di 650.000 ton/anno nel 1940-41, ma nel maggio 1942 fu portata a 1,8 milioni di ton/anno. Gli impianti di butadiene da alcool produssero con una resa del 165% rispetto al preventivato, ma dati i costi più alti furono i primi ad essere chiusi dopo la guerra. La produzione di butadiene per pirolisi di idrocarburi fu facilitata dalla scoperta di un nuovo processo catalitico della Standard Oil che aumentò la resa in buteni dal 10 al 25%, e subentrò parzialmente alla produzione da alcool (Fig. 2). Gli impianti per la produzione di butadiene furono 17 con una produzione di 622.500 ton/anno, quelli per lo stirolo 5, gli impianti di polimerizzazione 18 con una potenzialità totale di 705.000 ton/anno di Buna-S. Gli impianti per tutti i prodotti chimici ausiliari necessari all'impresa 11. La produzione di gomma sintetica,

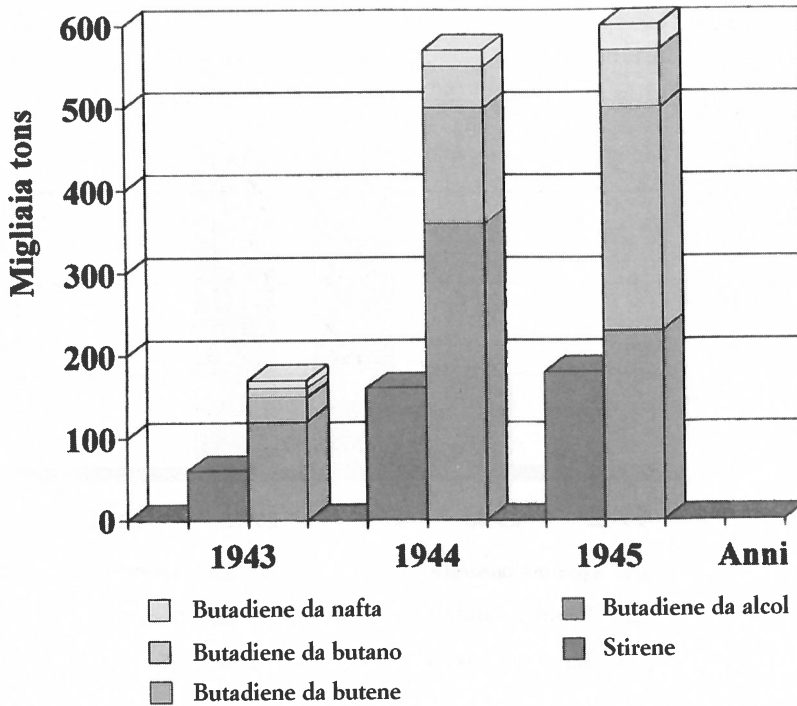


Fig. 2 - Stati Uniti 1941-45. Produzione di stirene e butadiene.

dopo un modesto inizio nel 1943 (meno di 200.000 ton.) raggiunse l'obiettivo previsto già nel 1944 (Fig. 3) [5].

La ricerca

Nel decennio 1943-1953 la ricerca sulla gomma negli Stati Uniti è stata finanziata dal Governo con 56 milioni di dollari, corrispondenti a circa 400 milioni di dollari del 1990 [1, 18]. Vi parteciparono numerose istituzioni ed industrie: 2 laboratori governativi, tra cui il National Bureau of Standards; 2 istituti privati; 2 istituti di consulenza; 18 università; 29 industrie, con libero scambio di documenti e informazioni ma con proibizione di pubblicare fino alla fine della guerra, cessata la quale furono pubblicati oltre 800 lavori.

La Ricerca Universitaria ha conseguito risultati che sono vere e proprie pietre miliari nella scienza dei polimeri e che hanno dato a questa uno sviluppo imponente; se ne considerano soltanto alcuni:

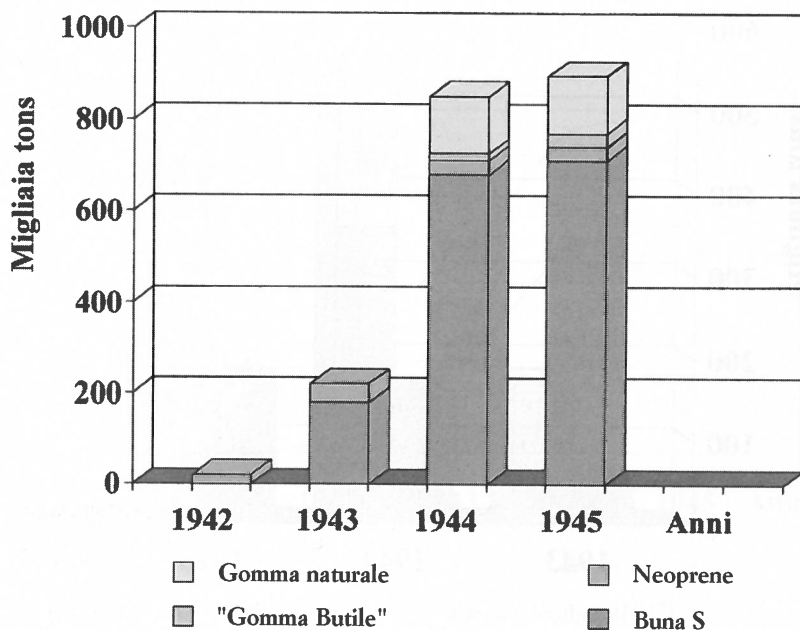


Fig. 3 - Stati Uniti 1941-45. Produzione di elastomeri.

- la cinetica della polimerizzazione radicalica in emulsione (Harkins, Kolthoff, Morton, Marvel);
- l'impiego del chain transfer nella polimerizzazione radicalica (Flory);
- la valutazione della conformazione, dimensione e peso molecolare dei polimeri (Flory, Debye: metodo della luce diffusa);
- l'analisi infrarossa della struttura (Richards, Binder, Field, Kolthoff);
- la spettroscopia dinamico-meccanica (Marvin, Markovitz);

La ricerca industriale ha avuto problemi e ottenuto risultati non meno importanti, posto che la gomma di sintesi Buna-S è risultata all'inizio inferiore alla gomma naturale; i problemi superati e i risultati ottenuti sono stati:

- maggiori difficoltà di processing, con minore diminuzione del peso molecolare durante la «masticazione» e il compoundig;
- minore resistenza all'abrasione e a rottura;
- minori proprietà dinamiche con maggiore isteresi e quindi maggiore riscaldamento nei cicli a flessione (problema specialmente serio per i copertoni dei mezzi pesanti);
- produzione della «gomma fredda», cioè del prodotto della polimerizzazione a

- bassa temperatura (5°C) che dà macromolecole più lineari, meno ramificate, più lavorabili;
- produzione della gomma «oil-extended», cioè trattata con il 25-30% di un olio minerale, che ne rende la lavorazione molto più agevole, pur mantenendone le proprietà;
 - produzione della «gomma artica» col 10% di stirolo anziché 25%, resistente alle basse temperature;
 - polimerizzazione stereospecifica dell'isoprene coi catalizzatori Ziegler-Natta (1956) [9, 19].

Conclusioni

La nascita della nuova industria della gomma sintetica ha segnato l'inizio della grande Industria Petrolchimica ed è avvenuta in un contesto generale costituito da tre processi: scientifico, tecnologico, politico [20].

1) Il processo scientifico è consistito nella risoluzione del problema fondamentale del legame macromolecolare, della ridefinizione del peso molecolare quando lo si riferisce a grandi molecole, del chiarimento del concetto di Colloide. La ricerca sulla gomma ha dato un impulso determinante allo sviluppo della scienza dei polimeri;

2) Il processo tecnologico ha avuto due aspetti, ambedue vincolanti per la motorizzazione: i carburanti e la gomma;

3) Il processo politico è consistito in una costante attenzione dei governi tedeschi ai processi industriali che potevano dare alla Germania autonomia in due settori strategici e vitali (carburanti ed elastomeri) mentre negli Stati Uniti l'impegno politico è stato molto più tardivo, ma è divenuto imponente sotto la pressione degli eventi bellici.

In estrema sintesi da tutto il contesto degli eventi sopra descritti è stato il ruolo fondamentale della Scienza ad emergere, come è stato espresso da Harry Holmes nel suo intervento presso la Società Chimica Americana nel 1942, anno della crisi [21]: «Il pubblico americano si attende che il Chimico e l'Ingegnere siano capaci di compiere il miracolo: assicurare la sopravvivenza della nazione mediante la Scienza; all'entrata della biblioteca Rochester c'è un'iscrizione scolpita sulla pietra che dice:

«Scienza
Maestra della Luce e dell'Energia,
del Tempo, dello Spazio, del Suono,
Nemica delle forze
che attentano alla Vita»

La Scienza ha una visione che il pubblico e molti dei suoi leaders non hanno: senza questa visione i popoli periscono».

BIBLIOGRAFIA

- [1] V. HERBERT, A. BISIO: *Synthetic Rubber: a Project that had to succeed*, Westport, Greenwood Press, 1985.
- [2] F.A. HOWARD: *Buna Rubber: the Birth of an Industry*, New York, Van Nostrand, 1947.
- [3] «Industrial Engineering Chemistry» 34, 1256 (1942).
- [4] F. AFTALION: *A History of the International Chemical Industry*, Philadelphia, University of Pennsylvania Press, 1991.
- [5] P. MALTESE: «Materie Plastiche ed Elastomeri», 1999, p. 136.
- [6] P. MALTESE: «Materie Plastiche ed Elastomeri», 1995, p. 277.
- [7] M. MORTON: «Chemical Engineering News», May 7, 1990, p. 64.
- [8] R.B. SEYMOUR: *History of Polymer Science and Technology*, New York, M. Dekker, 1982.
- [9] J.P. KENNEDY, E.G.M. TORNUST: *Polymer Chemistry of Synthetic Elastomers*, Part I, New York, Interscience, 1968, Cap. 2.
- [10] M. GIUA: *Chimica Industriale*, Vol. 10, Uses, Firenze, 1976.
- [11] J.P. KENNEDY, E.G.M. TORNUST, Cap. 4 A.
- [12] J.P. KENNEDY, E.G.M. TORNUST, Cap. 4 B.
- [13] J.P. KENNEDY, E.G.M. TORNUST, Cap. 5.
- [14] E. GUTH: «J. Polymer Sci., Macromolecular Symposium», 35, 1 (1979).
- [15] H.F. MARK: *From small Organic Molecule to Large*, Seeman, Washington DC, A.C.S., 1993.
- [16] P. MALTESE: «Materie Plastiche ed Elastomeri», 1991, p. 130.
- [17] B.H. LIDDELL HART: *Storia militare della Seconda Guerra Mondiale*, Milano, Mondadori, 1970.
- [18] P.J.T. MORRIS: *The American Synthetic Rubber Research Program*, Philadelphia, University of Pennsylvania Press, 1989.
- [19] F.M. MC MILLAN: *The Chain Straighteners*, London, Mac Millan Press, 1979.
- [20] G. BATTIMELLI, M. DE MARIA, A. ROSSI: *La ristrutturazione delle Scienze fra le due guerre mondiali*, Vol. II, Roma, La Goliardica.
- [21] H. HOLMES: «Industrial Engineering Chemistry», 34, 1410 (1942).