

**La sintesi di macromolecole organiche
a struttura ordinata fonte
di nuovi materiali da costruzione**
Prolusione del Professor Giulio Natta
A.A. 1957.1958

212

Ho aderito con una certa perplessità al gentile invito del nostro Rettore Professor Gino Cassinis, di riassumere in questa occasione quanto si è fatto in questo Politecnico nel campo della chimica macromolecolare, perché avrei preferito rimandarlo ad uno dei prossimi anni. E ne dico subito la ragione: un auditorio prevalentemente costituito da ingegneri e da prossimi ingegneri è, per la massima parte, formato da persone molto realistiche, portate a trattare di cose concrete, corrispondenti a delle realtà fisiche, e per le quali la realtà fisica è racchiusa in regole matematiche. È un pubblico quindi che non ama le estrapolazioni.

Avrei perciò preferito parlarvi delle nuove scoperte, sbocciate nei laboratori scientifici di questa Scuola, soltanto quando i risultati avessero superato non solo la fase delle ricerche di laboratorio, e la fase attualmente in corso, di realizzazione negli impianti pilota e nei primi impianti industriali, ma i nuovi ritrovati si fossero praticamente, materialmente imposti, con il peso di decine di migliaia di tonnellate di prodotti diffusi nei principali mercati di tutto il mondo. Ossia quando i nuovi prodotti creati dal chimico fossero diventati in larga scala disponibili per le opere degli ingegneri e degli architetti quali nuovi materiali da costruzione.

Tale fase non sarà raggiunta dal complesso delle produzioni europee, americane e giapponesi (che applicheranno i nostri principi), che fra uno o due anni.

Ma il nostro Rettore Professor Cassinis, ed il Preside della nostra Facoltà di Ingegneria, Professor De

Marchi, hanno desiderato che venisse reso noto, già sin d'ora, un caso che può essere considerato tipico, in relazione ad una delle più importanti funzioni espletate dall'Università, quella di pioniere nel campo della scienza. Il progresso scientifico, soprattutto nel campo chimico è stato, si può dire, sempre il presupposto necessario ad ogni grande nuova realizzazione.

In un periodo in cui anche persone autorevoli si sono espresse in modo pessimistico sulla rispondenza e funzionalità delle Università Italiane, noi sentiamo il dovere di affermare che Istituti del Politecnico di Milano, sia da un punto di vista didattico, ma ancor più dal punto di vista della ricerca scientifica, assolvono in pieno il loro compito.

Chi vi parla non crede di peccare di immodestia dicendo che il lavoro effettuato in un Istituto di Chimica del nostro Politecnico ha avuto l'onore di essere particolarmente apprezzato e riconosciuto in tutto il mondo chimico. Lo provano le citazioni su pubblicazioni straniere, le visite di Capi dei più importanti laboratori di ricerca chimica di industrie europee ed americane, l'invito a fare delle nostre ricerche il tema del discorso inaugurale del 16° Congresso Internazionale di Chimica tenutosi a Parigi il luglio scorso, gli inviti a tenere cicli di conferenze presso Università ed i più grandi Istituti di ricerche industriali degli Stati Uniti d'America. Ciò mi incoraggia ad accennarvi al lavoro finora effettuato nel mio Istituto, perché si sappia quanto i Laboratori scientifici della Facoltà di Ingegneria del nostro Politecnico fanno e faranno per il progresso

della scienza, della nostra industria e della nostra economia.

In un paese povero di materie prime, come l'Italia, l'unica materia prima di cui si dispone a condizioni più favorevoli, sono la mente e le mani degli uomini. Non dico solo la mente, perché nel campo chimico non basta abbandonarsi alla speculazione teorica, ma occorre realizzare concretamente, e spesso a spese di lunghe, faticose, incerte ricerche pratiche, per le quali anche la manualità sperimentale assume un'importanza non lieve. Inoltre occorre, per affrontare campi completamente nuovi, anche una certa dose di immaginazione, qualità sovente considerata antitetica con le funzioni dell'ingegnere.

Vi parlerò oggi sulla costruzione di molecole giganti, cioè di macromolecole che si possono paragonare ad edifici architettonici costruiti dal concatenamento di migliaia o di centinaia di migliaia od anche di milioni di elementi costruttivi. Le piccole molecole di partenza, chiamate unità monomeriche, sono paragonabili ai mattoni di un edificio e ciascuna di esse ha dimensioni di frazioni di un milionesimo di millimetro.

È necessaria qui una premessa intesa a precisare quanto era noto nel campo delle grandi molecole prima che, in questo Politecnico, venissero scoperti i processi di catalisi stereospecifica. Era noto che piccole molecole asimmetriche di partenza si potevano unire per lo più soltanto in modo casuale e disordinato in macromolecole. Sino a pochi anni fa, esclusi certi casi particolari (ad esempio la produzione del politene e del nylon) in cui le unità mono-

meriche presentano di per sé una elevata simmetria, oppure una particolare struttura polifunzionale, si ottenevano generalmente, per polimerizzazione, dei prodotti a struttura disordinata che era la causa delle deficienti caratteristiche termiche e meccaniche e li rendeva di limitato interesse pratico.

Il chimico, sino a pochi anni fa, non era capace di ottenere da tali elementi costruttivi che delle macromolecole bidimensionali o tridimensionali, a struttura irregolare, o tutt'al più sapeva dare alla costruzione una forma prevalentemente lineare ma irregolare e ramificata. Molecole giganti a strutture corrispondenti a modelli ben precisi ci vengono invece largamente fornite dalla natura nelle molecole aventi funzioni fondamentali negli organismi viventi.

L'uomo senza saperlo ha utilizzato, già dalla preistoria, delle macromolecole come alimento, come vestiario, come materiale da costruzione. Esse furono però le ultime ad essere ben conosciute dal chimico. Solo in questi ultimi decenni si è cominciato a conoscerne la intima natura e soprattutto l'architettura interna. La prima sostanza organica a basso peso molecolare ottenuta per sintesi fu preparata da Wohler 130 anni fa (1828). Per oltre un secolo migliaia di chimici hanno demolito e sintetizzato molecole organiche, hanno creato centinaia di migliaia di sostanze organiche diverse, per lo più a basso peso molecolare, sostanze che il chimico per estrazione, cristallizzazione, distillazione, si sforzava di ottenere purissime. La teoria della quadrivalenza del carbonio ne spiegava la natura e lasciava prevedere la sintesi, il chimico le utilizzò per ottenere migliaia di prodotti sintetici più o meno semplici, alcuni di interesse pratico: coloranti, solventi, profumi, medicinali.

Passando dalle molecole relativamente piccole alle molecole giganti naturali, il chimico si trovava di fronte ad un problema troppo complicato. Tali molecole non si lasciavano trattare con i metodi classici della chimica organica, non fonde-

vano, non cristallizzavano, non si discioglievano indecomposte. Il chimico non sapeva quindi da che parte aggredirle per individuarne la intima struttura molecolare e le caratteristiche. I mezzi di cui il chimico disponeva erano troppo grossolani per poter isolare ad uno ad uno gli elementi costruttivi le cui dimensioni sono, come ordine di grandezza, molto più piccole, del limite di visibilità microscopica, e per disporli con un ordine prestabilito. Si pensi che una sola goccia di un monomero contiene un ordine di grandezza di 10^{20} molecole semplici.

Alcune macromolecole, come la cellulosa, potevano venire modificate nelle loro proprietà con trattamenti chimici, e ciò diede vita a rami importanti della chimica, quali ad es. ad una classe importante di esplosivi e di materie plastiche, all'industria delle fibre tessili artificiali, ai rayon alla viscosa e all'acetato di cellulosa.

Si sapeva anche che alcune molecole giganti naturali erano costituite da un concatenamento regolare di elementi costitutivi relativamente semplici, per lo più uguali tra loro (glucosio nel caso della cellulosa; amminoacidi nel caso della lana, della seta e di altre sostanze proteiche; isoprene nel caso della gomma naturale) ma l'uomo era incapace di riprodurle.

Questo il grado di conoscenza cui era pervenuto il chimico nel campo della sintesi delle macromolecole fino a quattro anni or sono.

La scoperta realizzata nell'Istituto di Chimica Industriale di questo Politecnico nei primi mesi del 1954, che ha profondamente rivoluzionato la chimica macromolecolare, schiudendo enormi possibilità di realizzazioni pratiche, consiste concettualmente, in questo: è, stato trovato un processo per il quale, partendo da composti chimici semplici non saturi, operando in presenza di particolari catalizzatori, si possono ottenere grandi molecole caratterizzate da strutture spaziali ordinate e prestabilite. Abbiamo denominato stereospecifici i catalizzatori e polimerizzazione stereospecifica il pro-

cesso che consente di ottenere le grandi molecole a struttura ordinata e prestabilita.

Da questo momento il chimico, è stato messo in grado di costruire delle macromolecole secondo schemi architettonici preordinati con le proprietà desiderate.

I primi elementi costruttivi da noi usati sono stati i più semplici idrocarburi non saturi.

È stato trovato che certi cristalli astrati di ioni aventi una particolare struttura reticolare, adsorbono composti metallorganici, formando in superficie dei complessi catalitici asimmetrici aventi una particolare struttura ed un particolare tipo di coordinazione, con legami cosiddetti a ponte, elettrone-deficienti.

Tali complessi agiscono da catalizzatori in un particolare e nuovo tipo di polimerizzazione, quella anionica coordinata, per cui le unità monomeriche reagiscono soltanto se si dispongono orientate in un modo particolare, tale da differenziare molecole eguali ma enantiomorfe (l'una immagine speculare ma non sovrapponibile dell'altra). In tal modo si sono ottenute strutture nuove e diverse a seconda del tipo e dell'ordine di tale concatenamento. Unità monomeriche, molto asimmetriche, possono collegarsi in strutture simmetriche che assumono spesso una forma di eliche. Le molecole giganti così ottenute, costituite da centinaia di migliaia di piccole molecole che si sono fuse in una più grande, posseggono proprietà eccezionali dipendenti dalla loro architettura interna e dal grado di ordine che può venire modificato a piacere entro larghi limiti.

Da idrocarburi semplici, ad esempio dalle olefine che costituiscono i componenti principali del gas di cracking del petrolio, (una volta inutilizzabili se non come combustibile povero) si possono così ottenere a piacere delle macromolecole lineari, lunghe da 1.000 a 100.000 volte il loro diametro, aventi una forma di elica a simmetria ternaria ed a passo regolare, che possono cristallizzare e fornire fibre aventi la resistenza del nylon.

La struttura cristallina determina

una certa analogia tra il comportamento dei materiali metallici e le macromolecole di un polimero a struttura ordinata, così ad es. tondini e lamine ottenuti per estrusione ed orientate per stiro dopo l'estrazione, aumentano la loro resistenza a trazione fino a raggiungere carichi di rottura di 40/60 Kg/mm², (equivalenti a quelli di un acciaio) ma presentano un peso specifico otto volte minore avendo un peso specifico di 0,90 (minore di quello del ghiaccio).

Le più alte resistenze a trazione si hanno estrudendo fili del diametro delle fibre tessili, mentre lamine trasparenti, ad orientamento planare di cristalli, presentano una resistenza a trazione uguale nelle varie direzioni (10-15 Kg/mm²) che è circa 1/4 di quella che si osserva nel senso di orientamento delle lamine, quando le lamine vengono orientate per stiro in una sola direzione.

Una caratteristica tipica che giustifica le eccezionali proprietà meccaniche delle macromolecole lineari cristalline, in confronto agli altri materiali da costruzione, è data dal fatto che essi possono cristallizzare in forme sferulitiche, ben diverse da quelle dei minerali e dei metalli cristallini.

Mentre nei metalli, ed in genere in tutte le sostanze a basso peso molecolare, ogni cristallo è costituito dalle ripetizioni di piccolissime celle elementari, contenenti un numero intero di molecole, i nuovi polimeri lineari formano dei microcristalli, ciascuno dei quali è più piccolo della lunghezza di ogni macromolecola. Ogni macromolecola perciò fa parte di più cristalli diversi, e li collega l'uno con l'altro. Nei materiali orientati (ad esempio per stiro), i cristalli sono disposti in gran parte parallelamente tra di loro e pure le macromolecole lineari sono orientate, (ad esempio nel senso dello stiro), e ciò conferisce alta resistenza a trazione ed allo scorrimento viscoso, perché le molecole molto lunghe, associate parallelamente in cristalli, difficilmente possono scorrere l'una rispetto all'altra.

Se fosse possibile risolvere pratica-

mente il problema di ottenere una fibra con un cristallo unico orientato costituito da macromolecole lineari, si arriverebbe a resistenze a trazione oltre dieci volte superiori a quelle dell'acciaio.

Queste caratteristiche meccaniche eccezionali si osservano nel caso di macromolecole a struttura regolare lineare, ma la stessa materia prima, ad esempio il propilene, può fornire prodotti aventi proprietà completamente diverse, quando si consente alle unità monomeriche di unirsi in modo non stericamente regolare, ossia quando si consente che due unità assumano, a caso, nella stessa macromolecola, forme diverse, corrispondenti ad esempio. l'una all'immagine speculare dell'altra (come quella della mano sinistra rispetto alla destra). Questa semplice modifica dell'orientamento relativo delle unità monometriche trasforma un polimero cristallino, alto fondente, rigido, che noi abbiamo battezzato isotattico, in una gomma elastica amorfa.

I più sensazionali risultati nelle catalisi stereospecifiche sono stati però ottenuti nel campo delle gomme elastiche cristallizzabili. Da oltre 50 anni i chimici si erano sforzati di ottenere dei prodotti sintetici, aventi le proprietà della gomma naturale, che secerne l'albero di Hevea Brasiliensis, e che è ancor oggi, si può dire, produzione quasi esclusiva della Malesia.

Già da oltre 70 anni i chimici avevano scoperto che la gomma naturale è costituita da un polimero dell'isoprene, idrocarburo diolefinico assai semplice (C₅H₈). Tutti i tentativi di riprodurre la gomma elastica erano però falliti. Il chimico si trova di fronte a molecole molto reattive (come le diolefine) le quali possono concatenarsi in modi diversi e per uno stesso concatenamento possono orientarsi in differenti modi, formando un'infinità di prodotti diversi. Una macromolecola del peso molecolare di 500.000, quale è all'incirca il peso molecolare della gomma naturale, contiene circa 8.000 unità monomeriche. Se tali unità fossero tutte disposte a caso nelle diverse forme di concatena-

menti possibili, si potrebbero prevedere un numero di strutture isomere e stereoisomere diverse uguali a 4 elevato a 8.000 (essendo 4 i modi con cui ciascuna molecola di monomero può presentarsi nel polimero, supposto che si concateni solo secondo i modi 1-4 e 3-4).

Oggi la catalisi stereospecifica ci ha consentito di ottenere polimeri in cui la massima parte delle unità monomeriche si presentano nello stesso modo e con la stessa struttura. Se prendiamo il butadiene, idrocarburo caratterizzato, come è noto, dalla presenza di 4 atomi di carbonio, di cui gli atomi di carbonio 1-2 e 3-4 sono uniti da un doppio legame, e facciamo reagire tra di loro le molecole del butadiene in modo che il primo atomo di una molecola reagisca con il quarto della successiva, le molecole possono presentarsi in due modi diversi, in forme denominate cis oppure trans, a seconda della posizione relativa degli atomi di idrogeno e di carbonio adiacenti ad un doppio legame nella catena. Se si presentano in forma cosiddetta cis, risulta una struttura regolare meandriiforme; e si hanno polimeri che sono delle gomme elastiche con proprietà di resilienza ottime, come la gomma naturale (che è pure un polimero 1-4 cis). Se si presentano in forma trans più distesa, si ha un polimero rigido a più alta temperatura di fusione, una materia plastica del tipo della guttaperca naturale. Se le molecole del monomero reagiscono concatenandosi mediante gli atomi 1-2, si hanno altri polimeri, di diverso tipo, ed a seconda della configurazione sterica, si ottengono dei plastici oppure delle gomme ma con valori della resilienza inferiori.

Tutti i polimeri regolari possono cristallizzare, le gomme elastiche a struttura regolare solo sotto stiro (come la gomma naturale) e solo le gomme cristallizzabili sotto stiro, aventi bassa entropia di fusione, possono presentare le proprietà paradossali della gomma naturale, che presenta allungamenti elastici reversibili dell'800-900%, che si raffredda, se si rilassa dopo essere

stata stirata, e che presenta un modulo elastico che cresce in modo notevolissimo e reversibilmente con il variare degli sforzi.

Nel nostro Politecnico si sono ottenuti tutti i quattro polimeri a struttura regolare prevedibili del butadiene e la prima gomma elastica che presenta le proprietà eccezionali della gomma naturale.

Ritengo però che i più promettenti prodotti intermedi per la produzione di gomme elastiche sintetiche siano i copolimeri lineari saturi di olefine, pure ideati qui. Questi infatti forniscono gomme caratterizzate da una resilienza superiore alle gomme sintetiche prodotte in passato, solo di poco inferiore a quella della gomma naturale, ma sono molto più resistenti all'invecchiamento. E le materie prime di partenza sono molto meno costose. Io vorrei che questa breve esposizione potesse dare una chiara sensazione della profonda rivoluzione in atto nel campo della chimica macromolecolare, rivoluzione che ha avuto il suo inizio in questo Politecnico, che ha schiuso nuovi vasti orizzonti anche nel campo delle ricerche. Nel campo da noi dischiuso lavorano oggi diverse migliaia di chimici, in centinaia di laboratori di ricerca sparsi in tutto il mondo. Proprio in questi giorni m'è giunta notizia di un grande laboratorio deciso dalla Accademia delle Scienze di Mosca, sui polimeri isotattici (la parola isotattico è stata coniata da noi ed è ormai accettata da tutti).

Come ho detto, sono trascorsi appena quattro anni dalla prima sintesi stereospecifica realizzata in questo Politecnico. Già sono sorte decine di impianti pilota, e 3 impianti industriali per la produzione del primo polimero isotattico: i primi due rispettivamente in Italia ed in Germania, utilizzando in quest'ultimo paese, l'estensione di brevetti italiani. Un terzo è in costruzione negli Stati Uniti.

Il Ricercatore generalmente è restio dal fare previsioni, ed anche quando i risultati delle sue ricerche riguardano temi interessanti le applicazioni industriali, prevale in

lui l'ansia del conoscere, la soddisfazione di avere individuato quelle leggi che natura custodisce tanto tenacemente, ed è più portato ad allargare i nuovi campi di ricerca, piuttosto che a fermarsi per seguire gli sviluppi pratici ed i risultati precedentemente conseguiti. Ma se mi soffermo per un solo istante a meditare sugli sviluppi che questi potranno avere in futuro, posso affermare con certezza che eserciteranno un ruolo fondamentale, nell'evoluzione tecnica ed economica nel campo della chimica macromolecolare. Infatti i risultati positivi ottenuti nella produzione su scala industriale dei nuovi polimeri a struttura regolare, consentono di prevedere che in due-tre anni la produzione in Europa e in America raggiungerà molte decine di migliaia di tonnellate/anno, per salire, pochi anni dopo, fino a diverse centinaia di migliaia di tonnellate/anno.

Tale aumento sarà favorito da contingenze di carattere economico. Infatti l'inevitabile discesa dei costi, che accompagna normalmente i forti aumenti di produzione, quando il basso prezzo delle materie prime lo consentirà, determinerà prezzi di vendita molto inferiori a quelli delle materie plastiche cristalline sinora note ed a quelli dei metalli più comuni (a parità di volume od a parità di resistenza).

La facile lavorabilità dei materiali cristallini macromolecolari, le loro migliorate proprietà meccaniche, la loro maggiore resistenza allo scorrimento viscoso, la loro facile lavorabilità, la trasparenza di alcuni prodotti, la impermeabilità perfetta, la loro leggerezza (pesi specifici minori di 1 allo stato compatto, ma compresi tra 0,1-0,01 allo stato poroso) lasciano prevedere una evoluzione dalla applicazione in atto, come materiali ornamentali, di vestiario ed imballaggi, verso nuovi impieghi, quali tubazioni, anche per medie pressioni, quali coperture di edifici, elementi costruttivi isolanti, ecc.

Nelle costruzioni potranno essere applicati anche per strutture resistenti a sforzi notevoli di trazione e

di flessione, per costruzioni navali ed automobilistiche o per la costruzione di ponti, per i quali è già prevedibile la realizzazione di maggiori luci con minori pesi rispetto a quelli ottenibili con l'impiego di strutture e di funi metalliche.

Sono il petrolio e gli idrocarburi superiori al metano dei gas naturali, le nostre materie prime per le sintesi organiche macromolecolari. Essi attraverso trasformazioni chimiche possono fornire, in quantità che possono ora apparire come illimitate, prodotti più nobili, che non hanno più nessuna proprietà in comune, esclusa la leggerezza, col materiale di origine. Essi potranno consentire in un futuro, quando l'aumento di popolazione del mondo lo rendesse necessario, di destinare alla produzione di prodotti alimentari più larghe porzioni di superfici agricole, che dovrebbero altrimenti venir destinate alla produzione di cellulosa, di fibre tessili, di lana e di gomma.

Debbo dire però, che il nostro lavoro è stato reso possibile dall'appoggio finanziario che l'industria, in particolare la Soc. Montecatini, ci ha dato. È stato per noi di vero conforto constatare che l'industria italiana dispone di uomini di grande coraggio e di larghezza di idee disposti, a differenza di quanto hanno fatto le industrie statizzate, ad aiutare ricerche di carattere fondamentale, anche quando esse erano ancora solo delle idee, con incerte probabilità di successo nel campo delle realizzazioni industriali.

Questi uomini hanno stanziato somme dell'ordine delle centinaia di milioni l'anno per contribuire all'attrezzamento, alle spese di funzionamento di laboratori universitari, organizzati sulla scala dei grandi laboratori di ricerca di oltreoceano. È in questa fase iniziale che si può giudicare la sensibilità, l'intuizione e lo slancio per una iniziativa.

Poi, quando i risultati ottenuti sono positivi, tutti, anche oltreoceano, si dichiarano disposti ad elargire grandi aiuti pure di poter disporre anche solo di una parte dei risultati riguardanti le ricerche effettuate. Esprimo qui la nostra gratitudine a

quanti ci hanno aiutato. Da parte nostra dirò semplicemente che in questi quattro anni non è esistito altro che il nostro lavoro.

Desidero chiudere questa breve esposizione ponendo in rilievo un risultato per me non meno importante della affermazione delle nostre ricerche, voglio dire l'influenza che i nostri lavori hanno avuto sulla formazione dei giovani chimici.

Infatti accanto al tema fondamentale di ricerca è scaturito un largo numero di temi che hanno costituito argomento di tesi di laurea per gli studenti e di ricerca a carattere scientifico per i giovani laureati. I risultati sono stati tangibili e si rilevano soprattutto dal livello raggiunto dai giovani ingegneri chimici che il Politecnico di Milano pone a disposizione dell'industria italiana, e dalle numerose richieste di laureati e docenti stranieri anche nord-americani, di essere accolti per un periodo di specializzazione nel nostro Istituto.

La ricerca in un campo tanto vasto e tanto fertile ha consentito di raggiungere accanto alle realizzazioni nel campo della chimica macromolecolare un'altra realizzazione di estrema importanza: la formazione di chimici particolarmente addestrati per la ricerca sperimentale che costituiranno in avvenire le forze operanti del progresso chimico. Medito sovente sui compiti che il chimico dovrà assolvere negli anni futuri e soprattutto sulla nostra funzione nel formare uomini. Scomparsa la possibilità di condurre la ricerca come negli anni passa-

ti, in cui il chimico si dedicava isolatamente o con l'aiuto di un ristretto numero di collaboratori allo studio di problemi che potevano venire affrontati anche con mezzi relativamente modesti, la ricerca chimica oggi, nel suo progredire, richiede mezzi imponenti ed un larghissimo numero di collaboratori. La ricerca deve ora essere compiuta su una scala che si va facendo sempre più vasta, una nuova reazione realizzata dai chimici deve essere studiata in tutti i suoi aspetti da ricercatori la cui competenza è nettamente diversa dalla competenza di coloro che hanno realizzato la prima reazione chimica in Laboratorio. Sorge così ad esempio la necessità che accanto al chimico organico si disponga di chimici specializzati rispettivamente nei vari campi dell'indagine chimico-fisica, nelle determinazioni strutturali e nella determinazione di tutte quelle proprietà che consentiranno di caratterizzare il composto di nuova realizzazione e di stabilirne il campo di applicazione. Occorre inoltre determinare tutti i dati termodinamici, cinetici, tecnologici che occorrono all'ingegnere perché il seme germinato nel laboratorio di ricerche si sviluppi in grande albero capace di dare ricchi frutti.

Per questo nel condurre i nostri lavori è stato necessario formare una larga schiera di chimici ed ingegneri specializzati che hanno collaborato con passione, competenza e dedizione alle nostre ricerche. Il primo nucleo di Ricercatori presso il nostro Istituto ha catalizzato una reazione a catena, che ha por-

tato alla formazione di un aggregato «macromolecolare» costituito da numerose «unità monomeriche» ordinate di ricercatori chimici. E per un processo di trasferimento di catena altri nuclei di

«Ricercatori chimici» si stanno formando in Italia, e noi ci auguriamo che raggiungano «gradi di polimerizzazione, » molto elevati.

Sarà questo il giorno in cui ci potremo concedere un po' di tregua poiché vedremo dietro di noi formata una schiera di chimici che raccoglieranno la nostra eredità e sui quali la Scuola e l'Industria Italiana potranno poggiare, sicure di potersi avvalere di un'opera che consentirà loro di occupare quel posto che per l'operosità dei suoi uomini e per il livello scientifico raggiunto meritano di occupare nel mondo.