

POLITECNICO

POLITECNICO

RIVISTA DEL POLITECNICO DI MILANO

7 · 2003



Giulio Natta
nobel politecnico

POLITECNICO

RIVISTA DEL POLITECNICO DI MILANO

7 - 2003



Direttore responsabile

Maria Licia Zuzzaro

Comitato di redazione

Giulio Ballio

Giovanni Azzone

Adriana Baglioni

Michele Gasparetto

Carlo Ghezzi

Roberto Negrini

Mauro Santomauro

Giancarlo Spinelli

Anna Zaretti

Progetto grafico

Sit.com

Alessandro Deserti

Stefano Mandato

Chiara Rolfini

Stampa

Up. point S.r.l.

via Mangiagalli, 18

20133 Milano

Milano, Ottobre 2003.

Registrata presso
il Tribunale di Milano
con il n° 813 del 13.11.1987

Tutti i diritti riservati
al Politecnico di Milano.

Indice

Contents

5. **Giulio Natta Nobel Politecnico**
6. Giulio Ballio
Giulio Natta - Università e Industria
Giulio Natta - University and Industry
14. Paolo Corradini
Ricordo di Giulio Natta nel centenario della nascita
Recollection of Giulio Natta, Nobel Prize for Chemistry 1963, on the occasion of the Centenary of his birth
18. Lido Porri
La Polimerizzazione stereospecifica. Come la natura perse un monopolio
The Stereospecific Polymerization. How nature lost a monopoly
26. Giorgio Mazzanti
La collaborazione tra il Politecnico e la Montecatini negli anni '50 - '60
The collaboration between the Politecnico di Milano and Montecatini in the 1950s-1960s
30. Sergio Carrà
Quali prospettive per la chimica italiana?
What prospects for Italian chemistry?
34. Giuseppe Allegra, Fabio Ganazzoli, Stefano V.Meille, Guido Raos
La visione molecolare nello sviluppo dei materiali polimerici
The molecular insight in the development of polymeric materials
42. Giuseppe Zerbi
Recenti sviluppi nella scienza dei materiali organici nanostrutturati: l'intuizione interdisciplinare di Giulio Natta
Recent development of the science of nanostructured organic materials: the intuition by Giulio Natta of the need of an interdisciplinary culture
48. Paolo Galli
L'innovazione tecnologica e lo sviluppo industriale del polipropilene
Technological innovation and the industrial development of polypropylene
58. Adriano De Maio
Strategie per la ricerca scientifica e tecnologica: a quando un nuovo premio Nobel in Italia?
Strategies for scientific and technological research: when will there be another Nobel Prize in Italy?
62. Luciano Caglioti
Natta-Giustiniani: una sinergia vincente
Natta-Giustiniani: a winning synergy
66. Italo Pasquon
L'eredità di Giulio Natta nella Scuola e nell'industria
Giulio Natta's legacy at School and in industry
70. Emilio Gatti
Giulio Natta nel Politecnico di Milano
Giulio Natta in the Politecnico di Milano
82. Giuseppe Natta
La vita in famiglia
Life at home
86. Sergio Auricchio
Giulio Natta e la Chimica oggi: incontro tra Università, Industria e Scuole Medie Superiori
Giulio Natta and Chemistry today : meeting between University, Industry and High Schools
90. **Eventi e manifestazioni**
92. **The Nobel Prize in Chemistry 1963**
94. **Cronologia essenziale della vita di Giulio Natta**
Milestones in the life of Giulio Natta
96. **Onorificenze e riconoscimenti conferiti a Giulio Natta**
97. **Opere su Natta**
98. **Premi Nobel Italiani**

Giulio Natta Nobel Politecnico

Come uomo, Giulio Natta era timido e riservato. Con tutti sapeva mantenere rapporti sinceramente umani, anche se mascherati da un apparente distacco, certo dovuto alla timidezza. Sapeva incutere rispetto, senza mai alzare la voce: non dava ordini né ai collaboratori, né agli studenti, ma solo consigli e suggerimenti. Nondimeno seppe coordinare, con tratto garbato e con grande fermezza, l'attività dei diversi gruppi di ricercatori, ciascuno con le proprie competenze specialistiche, accettandone le diverse personalità.

Così lo ricorda uno dei suoi allievi e più stretti collaboratori (*). E queste righe descrivono, a nostro giudizio, l'essenza dell'uomo Giulio Natta, allievo e poi docente al Politecnico di Milano. L'autorevolezza sa imporsi da sé, senza alzare la voce, come sanno bene gli studenti di ogni generazione. A questo, ancor oggi, vivido esempio di scienziato che ha saputo creare intorno a sé una Scuola, anche grazie all'insostituibile sostegno arrivato dall'industria, è dedicato questo numero della Rivista Politecnico. Il centenario della sua nascita e la ricorrenza dei quarant'anni dal conferimento del Nobel ci offrono l'occasione per ripensare ad un insieme di condizioni che hanno influito sul raggiungimento di risultati ed hanno avuto sorprendenti ricadute industriali. Unico Nobel per la Chimica italiano, Premio condiviso con il tedesco Karl Ziegler del Max Planck Institut di Mühleim. Con Natta sono

diciannove complessivamente i Premi Nobel conferiti a italiani (includendo Franco Modigliani, Emilio Segrè, Salvador Luria, Renato Dulbecco, Riccardo Giacconi, i cinque Nobel emigrati negli Stati Uniti).

L'articolo del Rettore Giulio Ballio ci introduce negli anni in cui si trovò ad operare Natta. Seguono i contributi di persone che lo hanno conosciuto o che con lui hanno lavorato: Paolo Corradini, Lido Porri, Giorgio Mazzanti, Sergio Carrà, Giuseppe Allegra, Giuseppe Zerbi, Emilio Gatti, Luciano Caglioti, Italo Pasquon. Testimonianze di prima mano che rievocano, con freschezza e obiettività, anni di grande fervore scientifico.

Paolo Galli illustra con chiarezza ed efficacia come il successo commerciale del polipropilene sia stato strettamente correlato all'impegno congiunto di ricercatori della università e dell'industria, per il graduale perfezionamento di un processo di produzione. Adriano De Maio si chiede, analizzando il caso Natta, quali siano le condizioni e le strategie, in un contesto non certo favorevole, che potrebbero stimolare una rinnovata fioritura dell'attività di ricerca scientifico-tecnologica in Italia.

Con un'affettuosa testimonianza Giuseppe Natta, figlio di Giulio, ci introduce nell'intimità dell'ambiente di casa Natta. Sergio Auricchio, infine, auspica che la giornata celebrativa del 6 ottobre 2003 organizzata dal Politecnico possa rappresentare un'occa-

sione per promuovere una più stretta interazione tra università, industria e scuola superiore sia allo scopo di riflettere sul ruolo che la chimica svolge per il progresso della qualità della vita, sia per stimolare un dibattito intorno alle attuali metodologie di insegnamento di una materia che appare ancora troppo ostica. Abbiamo ritenuto di ospitare in questo numero anche due importanti documenti: la motivazione del conferimento del Nobel, letta dal Professor A. Fredga, membro della Royal Academy of Sciences, la prolusione tenuta dallo stesso Giulio Natta in occasione dell'apertura dell'anno accademico 1957/58 di sorprendente attualità.

A tutti coloro che hanno voluto contribuire a questo numero è rivolto un sentito ringraziamento. Un ringraziamento particolare va infine al Rotary Club Parco Sud che ha sostenuto la presente pubblicazione.

Maria Licia Zuzzaro

* Giulio Natta, I polimeri stereoregolari, a cura di Italo Pasquon, edizione fuori commercio, realizzata con il contributo di Basell Poliolefine Italia S.p.A., Tipografica La Piramide, aprile 2003, pag. XXV

As a man, Giulio Natta was shy and discreet. He managed to maintain sincerely human relationships with everyone, though masked by apparent detachment, certainly caused by his shyness. He knew how to command respect, without raising his voice: he did not give orders to his collaborators, or his students, but only advice and suggestions. In spite of this, he managed to coordinate, with politeness and great firmness, the activity of the various groups of researchers, each with their own specialist skills, accepting their various personalities.

This is how one of his pupils and closest collaborators remembers him (*). And these lines describe, in our opinion, the essence of Giulio Natta as a man, student and then teacher at the Politecnico di Milano. Authority is capable of imposing itself, without raising its voice. This is well known by the students of all generations. To this - still today - shining example of a scientist who managed to create a School around himself, also thanks to the irreplaceable support provided by the industry, is devoted this issue of Politecnico. The centennial of his birth and the fortieth anniversary of his Nobel Prize offer the chance to think once again of a set of conditions that affected the achievement of results that had surprising industrial consequences. The only Italian Nobel winner for chemistry, a Prize shared with German Karl Ziegler from the Max Planck Institut, Mühleim. With Natta, nine-

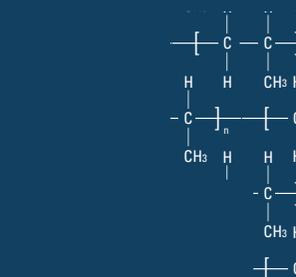
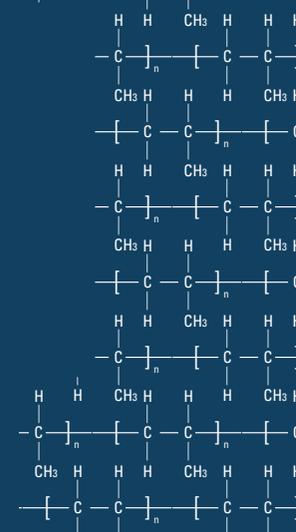
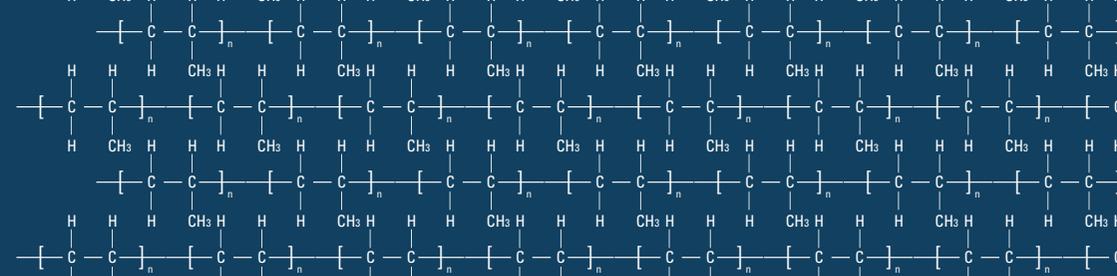
teen Nobel Prizes have been conferred to Italians on the whole (including Franco Modigliani, Emilio Segrè, Salvador Luria, Renato Dulbecco, Riccardo Giacconi, the 5 Nobel Prize Laureates who migrated to the United States).

The years of Natta's activity are introduced by the article of Rector Giulio Ballio, followed by contributions of people who met him or worked with him: Paolo Corradini, Lido Porri, Giorgio Mazzanti, Sergio Carrà, Giuseppe Allegra, Giuseppe Zerbi, Emilio Gatti, Luciano Caglioti, Italo Pasquon. Direct testimonies which recall, with freshness and objectivity, years of great scientific fervour. Paolo Galli clearly and effectively shows how commercial success of polypropylene was strictly correlated to the joint effort of researchers from university and the industry, for the constant development of a production process. Adriano De Maio wonders, while analysing the Natta case, what are the conditions and strategies, in an unfavourable situation, that might stimulate a new blossom of technological and scientific research operations in Italy. Through a caring testimony Giuseppe Natta, Giulio's son, takes us into the intimacy of Natta's home. Lastly, Sergio Auricchio hopes that the celebration day of 6th October 2003 organized by the Politecnico can represent an occasion to promote a closer interaction between university, industry and high school, both with the aim of thinking about the role

played by chemistry for the progress of the quality of life, and to stimulate some debate around current teaching methods of a subject which still appears too difficult. We believed it was appropriate to devote space in this issue to two significant documents: the motivation of the Nobel Prize giving, read by Professor A. Fredga, member of the Royal Academy of Sciences, and the opening speech held by Giulio Natta on the occasion of the opening of academic year 1957/58 surprising topicality.

A heartfelt thank goes to all those who have contributed to this issue. A particular thanks to the Rotary Club Parco Sud who supported this publication.

* Giulio Natta, Stereoregular polymers, edited by Italo Pasquon, out of print, made with the contribution of Basell Poliolefine Italia S.p.A., Tipografica La Piramide, April 2003, page XXV



Giulio Ballo

Giulio Natta – Università e Industria Giulio Natta – University and Industry

Unlike most other Nobel Prize Laureates, Natta did not specialize but mastered the whole landscape of chemistry and clearly saw its confines. This allowed him to readily single out research issues always of great scientific interest and with exceptional effects on industry. It is surely true that Natta distinguished himself for the choice of research issues, always topical and characterised by strong and direct interest in applications, for his major stamp he left on Italy in terms of chemical research, both in universities and industries, for being able to start an intense and fruitful collaboration between university and industry as well as for the significance in the world of his research in both scientific and industrial terms. Giulio Natta graduated in Chemical Engineering at the Politecnico di Milano in 1924 when just 21, and soon became assistant to professor Giuseppe Bruni, the legendary director of the Institute for General Chemistry.

He became a full professor when only 30. After 5 years spent in Pavia, Rome and Turin, he came back to Milan in 1938, where he became a full professor in Industrial Chemistry, until 1973.

He was a promising student: before he received his degree, his name was attached to the paper *Sulla stabilità delle soluzioni dei cloriti alcalini* (On the stability of alkaline chlorite solutions), written with Giorgio Romano Levi from the staff of Giuseppe Bruni, with whom he continued to work for a few years. His first industrial patent, regarding a Procedure for the synthetic preparation of liquid hydrocarbons, was filed on April 12th, 1927. Since then, he published 610 scientific or educational

A differenza della maggior parte degli altri premi Nobel, Natta non è stato uno specialista: egli ha dominato l'intero panorama chimico e ne ha visto chiaramente le frontiere. Ciò gli ha consentito di individuare prontamente temi di ricerca sempre di grande interesse scientifico e con intense ricadute industriali. Si può infatti affermare che Natta si distingue per la scelta dei temi di ricerca, sempre di attualità e caratterizzati da un notevole e diretto interesse applicativo, per la vasta impronta lasciata nella ricerca chimica nazionale, sia universitaria che industriale, per aver saputo instaurare un'intensa e proficua collaborazione tra università ed industria e per l'importanza, a livello mondiale, delle sue ricerche sul piano sia scientifico che industriale.

Giulio Natta si era laureato in Ingegneria chimica nel Politecnico di Milano nel 1924 a soli 21 anni, diventando subito assistente del professor Giuseppe Bruni, mitico direttore dell'Istituto di Chimica Generale. Divenne ordinario a soli 30 anni. Dopo un periodo di 5 anni che lo vede a Pavia, Roma e Torino, ritorna a Milano nel 1938, per ricoprire la cattedra di Chimica Industriale, che lascerà nel 1973. Era uno studente promettente: in data precedente alla sua laurea troviamo il suo nome nella pubblicazione "Sulla stabilità delle soluzioni dei cloriti alcalini", scritta con Giorgio Romano Levi, aiuto di Giuseppe Bruni, con il quale continuò a collaborare per qualche anno. Il suo primo brevetto industriale, riguardante un Procedimento di preparazione sintetica di idrocarburi liquidi, risulta depositato il 12 aprile 1927. Da allora sono apparsi 610 suoi lavori scientifici o didattici e 316 suoi brevetti industriali, depositati tra il 1927 e il 1969 ed in gran parte estesi in diversi paesi. Questa ricca attività ha interessato argomenti tra loro assai diversi, ma aventi in comune importanti caratteristiche: sono sempre di attualità e, se si escludono alcuni primi lavori, riguardano temi caratterizzati anche da un notevole interesse applicativo.

Un primo importante contributo apportato da Giulio Natta all'industria chimica riguarda la sintesi catalitica del metanolo da ossido di carbonio e idrogeno. Le sue ricerche in questo campo portarono alla realizzazione di diversi impianti in Italia e all'estero. Di notevole interesse i suoi studi sull'ottenimento del butadiene ad elevata purezza; grazie ai suoi contributi ed alla sua diretta collaborazione iniziò anche in Italia la produzione di gomma sintetica durante l'ultima guerra mondiale. Al periodo 1949-1960 risalgono anche collaborazioni con diverse

1.
Assemblea Federchimica
16 Giugno 2003, tavolo della
presidenza
Federchimica Assembly
16th June, 2003, presidency
table



papers and between 1927 and 1969 he filed 316 industrial patents, largely extended to other countries.

His full career dealt with very diverse topics, but which all shared significant features: they always regarded matters of the moment and, apart for a few of his first works, dealt with issues which are also highly interesting in terms of their possible applications.

The first significant contribution given by Giulio Natta to the chemical industry has to do with the catalyst methanol synthesis from carbon and hydro-

industrie chimiche italiane e straniere per la produzione di vari composti organici ed, in particolare, per lo studio della reazione di idroformilazione.

Ma la scuola di Natta si concretizzò con lo sviluppo della petrolchimica e la polimerizzazione stereospecifica.

All'inizio degli anni Cinquanta, sulla scia di quanto già verificatosi in anni precedenti negli USA, si era aperta in Italia, come negli altri paesi europei, l'era della petrolchimica che, attraverso i processi di cracking dei prodotti petroliferi, aveva messo a disposizione grandi quantità di prodotti di base, quali l'eti-

gen oxides. His studies on obtaining extremely pure butadiene were highly interesting; thanks to his contributions and his direct collaboration, the production of synthetic rubber started also in Italy, during World War II.

In the period 1949-1960 he collaborated with various Italian and foreign chemical companies for the production of various organic compounds and in particular for the study of hydroformylation reaction.

But the school of Natta emerged with the development of the petrochemical industry and stereospecific polymerisation.

In the early Fifties, in the wake of what had already occurred in previous years in the US, the age of the petrochemical industry had started in Italy and in other European countries which, by means of cracking processes of oil products, had made available large quantities of basic products, such as ethylene, propylene and butadiene.

Large plants were then built in Italy and Europe for the preparation of a wide range of finished products, the most significant of which are plastics, rubbers and manmade fibres. In these areas, which deal with macromolecular chemistry, we find the most renowned and significant research projects by Natta, which led him to receive the Nobel Prize for chemistry in 1963.

These research projects had been started in 1953 with the discovery of stereospecific polymerisation by Natta and his School. Paul J. Flory, one of the greatest experts in polymer science, also Nobel Prize Laureate for chemistry in 1974, called it "a revolution" in the field of macromolecular chemistry.

Stereoregular polypropylene was called by Natta "isotactic" and is a crystalline powder, of a lower density than water, which melts above 170° C and for which objects can be obtained with a tensile stress of 3-4 kg/mm². The significance of these research projects at a more scientific level was not limited to the fact that stereospecific polymerisation made it possible to obtain for the first time stereoregular polymers starting from monomers of different nature. Of paramount importance were also his works about the discovery of various catalyst systems and their behaviour and those about the determination of the structure of polymer substances, the relations between properties and structure and on asymmetrical syntheses: these kinds of syntheses established a connection between a class

lene, il propilene ed il butadiene. Ha avuto così inizio in Italia e in Europa la realizzazione di grandi impianti per la preparazione di un'ampia gamma di prodotti finiti, i più importanti dei quali sono le materie plastiche, le gomme e le fibre sintetiche. È in questi settori, che riguardano la chimica macromolecolare, che si collocano le più note ed importanti ricerche di Natta, che gli hanno valso il Premio Nobel per la chimica nel 1963. Queste ricerche erano iniziate nel 1953 con la scoperta della polimerizzazione stereospecifica da parte di Natta e della sua Scuola sostenuta e potenziata con l'apporto determinante dell'allora amministratore delegato della società Montecatini, Ingegnere Piero Giustiniani. Paul J. Flory, uno dei massimi cultori della scienza dei polimeri, a sua volta premio Nobel per la chimica nel 1974, la definì "una rivoluzione" nel campo della chimica macromolecolare. Il polipropilene stereoregolare definito da Natta "isotattico" è una polvere cristallina, di densità inferiore a quella dell'acqua, che fonde oltre 170° C e dalla quale sono ottenibili manufatti aventi un carico di rottura di 3-4 kg/mm². L'importanza di queste ricerche sul piano più propriamente scientifico non si limita al fatto che la polimerizzazione stereospecifica consentiva per la prima volta la sintesi di polimeri stereoregolari ottenuti a partire da monomeri di varia natura. Fondamentali sono stati anche i lavori sulla scoperta di vari sistemi catalitici e sul loro comportamento e quelli sulla determinazione della struttura di sostanze polimeriche, sulle relazioni tra proprietà e struttura e sulle sintesi asimmetriche: con questo tipo di sintesi veniva infatti stabilito un legame tra una classe di fenomeni che si verificano in natura e reazioni realizzabili per la prima volta in laboratorio.

La rivoluzione apportata da Natta nel campo della chimica macromolecolare ha coinvolto l'intero mondo scientifico e industriale specialistico del settore. Ben presto, dopo il 1954-55, buona parte dei laboratori di ricerca universitari ed industriali che nelle varie parti del mondo si occupavano di chimica macromolecolare, finì col dedicarsi, in misura più o meno rilevante, ad attività riguardanti la neonata polimerizzazione stereospecifica.

E per diversi anni questi laboratori si sono essenzialmente ispirati ai lavori di Natta e della sua Scuola, facendo cioè, per lo più, una ricerca di rincorsa. Sul piano applicativo tali ricerche hanno condotto alla scoperta di nuovi tipi di polimeri di rilevante interesse industriale, quali il polipropilene

of events that occur in nature and reactions that could be obtained for the first time in laboratory. The revolution achieved by Natta in the field of macromolecular chemistry involved the whole specialist scientific and industrial world in the field. Soon after 1954-55, a large part of university and industry research laboratories which throughout the world dealt with macromolecular chemistry, ended up working, more or less significantly, on issues regarding the newly-arrived stereospecific polymerisation. And for many years these laboratories basically draw inspiration from the works of Natta and his School, i.e. research by mimicry. In terms of applications, this research led to the discovery of new types of polymers of great industrial interest, such as isotactic polypropylene used in the production of plastics, manmade fibres and transparent sheets, ethylene-propylene co-polymers and 1,4-cis polybutadiene, two significant synthetic elastomers.

To honour the memory of Giulio Natta, to follow his example, to receive the message that his life has handed down, we need to ask a simple question. What must we do today, all together, to repeat similar successes?

In other terms, what are the weaknesses in our current system which prevent such virtuous paths from being implemented?

Maybe, to answer this question, we need to go back in time and think about the development of relationships between University and Business. We are at the end of Natta's activity. 1968 was a deep divide on which, more than thirty years later, some thoughts are worthwhile. Those years have definitely influenced our way of thinking and have affected our development, more than in neighbouring countries.

In the 1970-1990 period, education and research were considered as a social service, an exclusive duty of the public system. Under the insignia of a debatable guarantee of independence and freedom of choice of the scientist, Education and Research did not have to be subject to conditioning from the production system, did not have to be contaminated by economical relationship with companies and businesses.

In the 1970-1980 period in Italy, and not in other European countries, assistant professors for practical work were eliminated, the true link to convey knowledge and entertain relationships between University and the Business World.

isotattico utilizzato nella produzione di materie plastiche, fibre sintetiche e fogli trasparenti, i copolimeri etilene-propilene e il polibutadiene 1,4-cis, due importanti elastomeri sintetici.

Per onorare la memoria di Giulio Natta, per seguire il suo esempio, per raccogliere il messaggio che la sua vita ci ha dato, dobbiamo porci, una semplice domanda.

Oggi cosa dobbiamo fare, tutti insieme, per ripetere analoghi successi?

In altri termini, quali sono, nel nostro attuale sistema, i punti di debolezza che non permettono l'attuazione di percorsi così virtuosi?

Forse, per rispondere alla domanda, dobbiamo tornare un po' indietro nel tempo e riflettere sull'evoluzione dei rapporti fra Università e Impresa.

Siamo alla fine del periodo di attività di Natta. Il 1968 è stato una cesura profonda sulla quale, a distanza di più di 30 anni vale la pena di riflettere.

Quel periodo ha certamente influenzato il nostro modo di pensare e ha condizionato il nostro sviluppo, più di quanto è avvenuto nei paesi a noi vicini. Negli anni 70-90 formazione e ricerca sono state viste come un servizio sociale, un esclusivo dovere del sistema pubblico. In nome di una discutibile garanzia di indipendenza e libertà di scelta dello scienziato, Formazione e Ricerca non dovevano subire condizionamenti dal sistema produttivo, non dovevano essere contaminati da rapporti economici con aziende e imprese.

Negli anni 70-80 in Italia, non negli altri paesi europei, sono stati eliminati gli assistenti alle esercitazioni, vera cinghia di trasmissione di conoscenze e relazioni fra la Università e il Mondo Produttivo. È di quegli anni la definizione dei doveri dei docenti universitari, 350 ore annue di insegnamento, definizione che ha relegato a un ruolo totalmente subalterno la percezione del valore della ricerca sia da parte degli universitari che da parte dei potenziali fruitori dei risultati della ricerca. Ricordo che negli anni 70 venne di fatto smantellato il Centro di Calcolo del Politecnico, allora il più efficiente d'Italia, reo di fare attività per l'esterno in misura maggiore che per la ricerca interna.

Il mondo produttivo ha risposto all'arroccamento del sistema universitario o facendo ricerca al proprio interno o comprando i risultati che interessavano, spesso all'estero.

Poco alla volta la Ricerca perde il suo ruolo di investimento a lungo termine, motore indispensabile

The tasks of university professors were defined, 350 hours of class per year, a definition which totally marginalised the perception of the value of research both on the side of university people and on the side of possible users of the results of research.

I remember that in the 1970s the Calculation Centre of the Politecnico was actually dismantled, which was at the time the most efficient in Italy, guilty of working more for the external world than for in-house research. The manufacturing world reacted to the closing of the university system by carrying out research in-house or by buying interesting results, often abroad. Little by little, Research has lost its role of long-term investment, necessary drive to the development of the Country. Little by little, Research has become a consumer good, has been considered as a Public service, condemned like others to be seen as non effective and a waste of money.

Few Universities, amongst a thousand problems, managed to minimise the damage of this earthquake. It was those that had more international relationships that managed not to lose, at least, the vision of what occurred in the rest of the world and were therefore able to maintain the hope for a reversal of the trend.

Useful tools for change were given in the early 1990s, when Universities were acknowledged a certain degree of decision making independence. As is the case after an earthquake, some Universities began to reconstruct, in a totally different situation from the past.

I only want to mention a not negligible difference. In Lombardy, large companies are disappearing and making way for the emergence of many small and medium enterprises.

As to universities, this meant inventing new strategies for relations, new administrative tools, new incentives, that is, a new policy.

As to companies, this meant understanding, after twenty years, a University that could change, it means re-establishing a relationship that had been lost a long time before.

Many Universities have not yet chosen the road of change, which is long and difficult, sometimes exhausting and frustrating.

Now, with some optimism, I can maintain that Politecnico di Milano has many encouraging indicators.

At the Politecnico we no longer talk of the separation between basic research and applied research.

per lo sviluppo del Paese.

Poco alla volta la Ricerca diviene bene di consumo, viene vista come servizio Pubblico, condannato come gli altri, ad essere considerato inefficace e sprecone.

Poche Università, fra mille difficoltà, riuscirono a minimizzare i danni di questo terremoto. Furono quelle che più avevano rapporti internazionali, capaci di non perdere, se non altro, la visione di quanto accadeva nel resto del mondo e quindi capaci di mantenere la speranza di una inversione di rotta.

Gli strumenti utili al cambiamento furono dati all'inizio degli anni '90 quando fu riconosciuto agli Atenei un certo grado di autonomia decisionale.

Come nel post - terremoto alcune Università cominciarono a ricostruire, in una situazione molto diversa da prima.

Cito solo una diversità, non piccola.

Le grandi industrie in Lombardia stavano scomparendo a fronte del sorgere di tante piccole e medie imprese. Da parte universitaria si trattava di inventare nuove strategie di relazioni, nuovi strumenti amministrativi, nuovi incentivi, insomma una nuova politica. Da parte delle aziende si trattava di comprendere, a venti anni di distanza, una Università che poteva cambiare, si trattava di ristabilire un rapporto che si era perso nella notte dei tempi.

Molti Atenei non hanno ancora scelto la strada del cambiamento, lunga e faticosa, talvolta defaticante e piena di frustrazioni.

Oggi, con un po' di ottimismo, posso affermare che il Politecnico di Milano ha molti indicatori incoerenti.

Nel Politecnico non parliamo più della discrasia fra ricerca di base e ricerca applicata.

Parliamo di processo della ricerca, dalla ideazione, al confronto accademico, all'applicazione prototipale, al trasferimento all'esterno.

Per continuare a far vivere la ricerca, per sperimentare nuove idee, per dimostrare la loro bontà abbiamo capito che dobbiamo utilizzare i proventi della ricaduta all'esterno della ricerca e delle attività svolte su incarico di terzi. Nel Politecnico l'autofinanziamento della ricerca è passato dai 5.000.000 € del 1990 ai 45.000.000 attuali, di cui 25.000.000 prodotti dai Dipartimenti e 20.000.000 nell'ambito dei consorzi a noi vicini.

Da poco è nata la Fondazione Politecnico che speriamo sarà il motore del nostro futuro.

We are talking of the research process, from conception to academic discussion, prototype application, transfer to the outer world.

If we want to continue to make research live, to experiment new ideas, to show their value, we have understood we need to use revenues from the consequences of research in the outside world and activities carried out on behalf of third parties.

At the Politecnico, self-funding of research has risen from € 5,000,000 in 1990 to € 45,000,000 today, 25,000,000 of which is produced by Departments and 20,000,000 by consortia working with us. The Politecnico Foundation has been set up recently, and we hope this will be the engine of our future.

Our Doctorate School is extensively imitating that of Natta. Almost 1000 youngsters work with us, by attending Doctorate courses or by having received Research Grants. More than half are paid by research funds from Companies.

Ms. Bracco gave the first Research Doctor diplomas to two foreign students who started attending our school three years ago. Now the number of foreign people attending our Doctorate courses is much higher. Just as an example, in our Master in Business Administration there are 25 graduates from all over the world.

Three years ago Mapei won a different winner's shirt from those it accrued in the past: it set up the first chair in the new era of the University System. Now there are four of them, and others are coming. Our Consortia and Departments can finance by means of research funds the acquisition and career progress of human resources necessary to our University.

With the support of our Center for the Enhancement of Research, the number of patents is increasing, and similarly spin-off companies, each of them established around a patent owned by the University.

The Network for the Enhancement of University research was recently set up under the initiative of the Politecnico, a network of 34 universities that aims at offering collaboration to the Government and Industry Associations to disseminate research activities offered by Universities and patents available.

The Politecnico has nothing to lose, and maybe a lot to gain, if in the future there are those who want to assess our value based on the transfer of our research abroad.

La nostra Scuola di Dottorato sta imitando su larga scala quella di Natta. Fra Dottorandi, Assegnisti di Ricerca lavorano da noi quasi 1000 giovani. Più della metà sono pagati su fondi di ricerca provenienti da Aziende.

La Dottoressa Bracco ha consegnato i primi diplomi di Dottore di Ricerca a due studenti stranieri che tre anni fa si iscrissero da noi. Oggi i nostri dottorandi stranieri sono ben di più. Per fare un esempio, il nostro Master in Business Administration raccoglie 25 laureati provenienti da paesi di tutto il mondo. Tre anni fa la Mapei ha vinto una maglia rosa diversa da quelle che ha collezionato in passato: ha istituito la prima cattedra convenzionata nella nuova era del Sistema Universitario.

Oggi ne abbiamo quattro, altre stanno arrivando. I nostri Consorzi ed i nostri Dipartimenti possono finanziare su fondi di ricerca l'acquisizione e l'avanzamento di carriera di risorse umane necessarie all'Ateneo.

Con l'aiuto del nostro Centro per la Valorizzazione della Ricerca i brevetti stanno aumentando e così le società di spin-off, ognuna nata attorno a un brevetto di proprietà dell'Ateneo.

Per iniziativa del Politecnico è stato recentemente fondato il Network per la Valorizzazione della Ricerca Universitaria, una rete di 34 università che vuole offrire collaborazione al Governo e alle Associazioni Industriali per far conoscere le attività di ricerca offerte dagli Atenei e i brevetti disponibili. Come Politecnico non abbiamo nulla da perdere, forse molto da guadagnare, se in futuro qualcuno ci vorrà valutare in base al trasferimento all'estero delle nostre ricerche.

Mi piacerebbe che le aziende italiane potessero avere la priorità nel beneficiare delle ricadute delle nostre ricerche.

Noi crediamo che la formazione dei futuri tecnici italiani ha ancora bisogno di Scuole dove convivono Didattica, Ricerca e soprattutto Laboratori sperimentali. Il Politecnico, primo in Italia, ha un intero corso telematico di laurea triennale in Ingegneria Informatica. Abbiamo ricevuto una visita di esperti della UE: siamo stati selezionati fra le prime dieci università su 300 per quanto riguarda l'insegnamento a distanza.

Ne sono orgoglioso, ma non credo che si possa formare un ingegnere chimico per via telematica, senza laboratori.

Quando ci troviamo con i colleghi di altre Università italiane siamo portati a fare considerazio-

3.
Assemblea Federchimica
16.06.03, intervento del rettore
Giulio Ballio
Federchimica Assembly
16.03.03, rector Giulio Ballio's
speech



I would love it, if Italian companies had the priority in benefiting from the consequences of our research projects.

We believe the education of future Italian engineers still needs Schools which provide Education, Research and especially experimental Laboratories. The Politecnico, the first in Italy, has a full three-year degree course in Computer Engineering delivered electronically. EU experts came to visit: we were selected as one the top ten universities out of 300 as to remote teaching.

I am proud of that, but I do not think you can teach a chemical engineer remotely, without laboratories. When we meet with our colleagues from other Italian Universities we end up making not very positive remarks about this country that is throwing many accusations against us, that complains of its lot, that risks letting a system collapse which certainly has many inefficient areas, but also has many resources which are constantly competing internationally.

In my professional life as an Engineer, I had to face many rickety buildings. Most of them were industrial buildings or buildings destined to essential services for the manufacturing cycle of companies.

ni non troppo positive su questo Paese che ci rovescia tante accuse, che si piange addosso, che rischia di far crollare un sistema che certamente ha molte sacche di inefficienza, ma che ha anche tante risorse in continua e stimolante competizione in campo internazionale.

Nella mia vita professionale di Ingegnere mi sono cimentato contro molte costruzioni pericolanti. La maggior parte di queste erano stabilimenti industriali o costruzioni destinate a servizi essenziali al ciclo produttivo di Imprese.

Ho imparato che era mio compito quello di decidere rapidamente se proporre di consolidare la costruzione oppure se consigliare la sua demolizione.

Ogni tecnico sa bene che il crollo generalizzato è praticamente assicurato se si vuole salvare una costruzione e contemporaneamente si comincia a demolirne alcune parti.

Consideriamo che nella Ricerca la risorsa umana è essenziale.

- Forse l'attuale sistema della Ricerca italiana è simile a una costruzione pericolante.

- Forse è troppo rischioso demolirlo per poi ricostruirlo.

- Forse è meglio investire per farne fiorire le parti migliori, poi taglieremo i rami secchi.

- Forse tutti noi, Università e Imprese abbiamo bisogno di smettere di affermare che l'altro potrebbe fare meglio.

- Forse tutti noi, Università e Imprese abbiamo bisogno di credere che dobbiamo avere fiducia uno dell'altro.

Montecatini aveva bisogno della ricerca di Natta. L'ing. Giustiniani realizzava nel Politecnico l'edificio dell'Istituto di Chimica Industriale e vi installava le migliori attrezzature sperimentali allora disponibili, Il Politecnico aveva bisogno di Montecatini.

Natta dedicava la sua vita alla ricerca e alla formazione per l'intera Industria Chimica e quindi anche per Montecatini.

L'imprenditore, pubblico o privato che sia, Università o Impresa, devono convivere con la cultura del rischio.

Nella Ricerca vi è comunque il rischio di non ottenere il risultato voluto.

Forse, tutti noi, potremmo cominciare a pensare che Ricerca, Innovazione, Nuovi Prodotti potranno continuare a nascere e a fiorire solo se Università e Imprese ritroveranno quei valori positivi che hanno

I learned that my task was to decide rapidly whether I should suggest to consolidate the building or demolish it. Every engineer knows well that generalised collapse is practically guaranteed if you want to rescue a building and at the same time you begin to demolish some parts of it.

Just think that human resources are essential to Research.

- Perhaps the current system of Italian Research is similar to a rickety building.

- Perhaps, demolishing it to reconstruct it is too risky.

- Perhaps it is better to invest to have its best parts blossom, then we will cut out the deadwood.

- Perhaps all of us, Universities and Businesses need to stop saying that the other could do better

- Perhaps all of us, Universities and Businesses, need to believe that we must trust each other.

Montecatini needed Natta's research.

Mr. Giustiniani created, in the Politecnico, the building of the Institute for Industrial Chemistry and installed the best experimental equipment then available

The Politecnico needed Montecatini.

Natta devoted his life to research and education for the whole Chemical Industry and therefore also for Montecatini.

The businessman, whether public or private, University or Company, must live together with the culture of risk.

In Research we still run the risk of not obtaining the result we want.

Perhaps we could all start by thinking that Research, Innovation, New Products can only continue to begin and flourish if Universities and Businesses rediscover those positive values that were typical of Natta.

Perhaps only mutual trust and esteem between Universities and Businesses will make Research survive, and therefore lead to the economic development of our Country.

This text reports a part of the speech of professor Giulio Ballio, at the Federchimica Assembly in 16th June, 2003.

caratterizzato l'operare di Natta. Forse solo la fiducia e la stima reciproca tra Università e Imprese permetteranno la sopravvivenza della Ricerca e quindi lo Sviluppo economico del nostro Paese.

Questo testo propone parte dell'intervento tenuto dal Professor Giulio Ballio in occasione dell'assemblea generale di Federchimica del 16 Giugno 2003.

Paolo Corradini

Ricordo di Giulio Natta nel Centenario della Nascita

Recollection of Giulio Natta, Nobel Prize for Chemistry 1963, on the occasion of the Centenary of his birth

We celebrate this year the Centenary of the birth of Giulio Natta, professor of Industrial Chemistry at the Politecnico di Milano, Academician of the "Lincei" and Nobel Prize in Chemistry in 1963 (Porto Maurizio, now Imperia, February 26, 1903). The discoveries made by Giulio Natta have given a strong push to the progress of Science and made available to men a whole series of new materials, that we are using now for the benefit (welfare) of mankind. An example is isotactic polypropylene. The production of it, which started from zero in the Fifties, amounts nowadays, in the world, to 30 million tons per year, with an average consumption of the order of magnitude of five kilograms per year per inhabitant of the Earth!

Propylene may be obtained cheaply and in large quantities from oil. The possibility to obtain a crystalline polymer from propylene, the polymer that was called then *isotactic polypropylene*, was discovered by Giulio Natta and his collaborators in March 1954. The corresponding macromolecules are characterized by the presence of long sequences of monomeric units, which have the same configuration. In the solid state, such sequences give rise to a helicoidal molecular conformation.

The first two Memories on the subject were submitted for publication at the Accademia dei Lincei in December 1954. (of which one in collaboration with the author), followed by a letter to the editor

Ricorre quest'anno il centenario della nascita di Giulio Natta, professore di Chimica Industriale nel Politecnico di Milano, Accademico Linceo e Premio Nobel per la Chimica 1963 (Porto Maurizio, oggi Imperia, 26 febbraio 1903).

Le scoperte fatte da Giulio Natta hanno dato una grande spinta al progresso della Scienza e hanno messo a disposizione dell'uomo tutta una serie di nuovi materiali, di cui tutti noi usufruiamo per il nostro benessere. Basti pensare al polipropilene isotattico, la cui produzione, partita da zero negli anni Cinquanta, supera attualmente nel mondo 30 milioni di tonnellate all'anno, per un consumo medio di circa cinque chilogrammi all'anno per abitante della terra!

La possibilità di ottenere un polimero cristallino dal propilene (ricavabile in grandi quantità dal petrolio), polimero denominato poi *polipropilene isotattico*, fu scoperta da Giulio Natta e dai suoi collaboratori nel marzo 1954; le corrispondenti macromolecole sono caratterizzate dalla presenza di lunghe sequenze di unità monomeriche che hanno la stessa configurazione, dando luogo, allo stato solido, ad una conformazione elicoidale.

Al riguardo, le prime due Memorie pubblicate furono presentate all'Accademia dei Lincei nel dicembre 1954 (di cui una in collaborazione con lo scrivente), seguite poco dopo da una lettera all'editore del Journal of the American Chemical Society, a firma di Giulio Natta, P. Pino, P. Corradini, F. Danusso, E. Mantica, G. Mazzanti, G. Moraglio: "Crystalline High Polymers of alpha-Olefins".

La scoperta della polimerizzazione stereospecifica ha aperto un periodo nuovo nella chimica macromolecolare, il cui interesse non è solo scientifico, ma anche pratico; l'industria delle materie plastiche, degli elastomeri e delle fibre ne è stata infatti profondamente influenzata.

Nel 1963 il professor Ziegler e il professor Natta hanno ricevuto insieme il Premio Nobel per la Chimica.

Il professor Fredga, nel discorso di presentazione per il Premio Nobel, ha messo in evidenza come la nostra epoca stia assistendo al graduale rimpiazzo di materiali tradizionali (come vetro, porcellana, legno, metalli) con materiali sintetici, le materie plastiche, ottenibili per polimerizzazione (di molecole piccole).

Il professor Ziegler ha inventato un metodo interamente nuovo di polimerizzazione, in particolare dell'etilene, realizzando la crescita delle catene polimeriche (completamente lineari) per addizione su

of the Journal of the American Chemical Society, by Giulio Natta, P. Pino, P. Corradini, F. Danusso, E. Mantica, G. Mazzanti, G. Moraglio: "Crystalline High Polymers of alpha-Olefins".

The discovery of the stereospecific polymerisation has opened an entirely new field in Macromolecular Chemistry. Its interest is not only scientific, but also practical; the Industry of Plastics, of Elastomers and of Fibers has been strongly influenced.

In 1963 prof. Ziegler and prof. Natta have got together the Nobel Prize in Chemistry. Prof. Fredga, in the Presentation Speech for the Nobel Prize, has said that our Epoch is witnessing the gradual replacement of traditional materials (such as glass, porcelain, wood, metals, bones and horn) with synthetic materials, such as Plastics, which can be obtained by polymerisation (of small molecules). Prof. Ziegler has invented an entirely new method of polymerisation, in particular of ethylene, obtaining the growth of polymeric chains (completely linear) through the addition on metal-carbon bonds. This catalytic addition is much softer than the one known previously, which occurred on free radicals, and which gives rise to side chains and other anomalies. If instead of ethylene we polymerise propylene, propylene may originate chains with a lateral methyl group ($-\text{CH}_3$) every two carbon atoms; this lateral group may be oriented on the right or on the left along the chain.

When their orientations are randomly distributed, the chain has a spatially irregular configuration. Prof. Natta has found that certain types of Ziegler catalysts lead to *stereoregular* macromolecules, i.e. macromolecules with a spatially uniform structure. In such chains, all the side groups point to the right or to the left, these chains being called *isotactic*. The molecular environment of the metal atom, at which new units are stuck on the chain as mentioned before, is so shaped that it permits only a definite orientation of the side groups.

These statements by Fredga, and analogous statements by prof. Natta in his Nobel Speech, may be considered prophetic in respect to scientific findings and certain conclusions, which have been obtained much more recently.

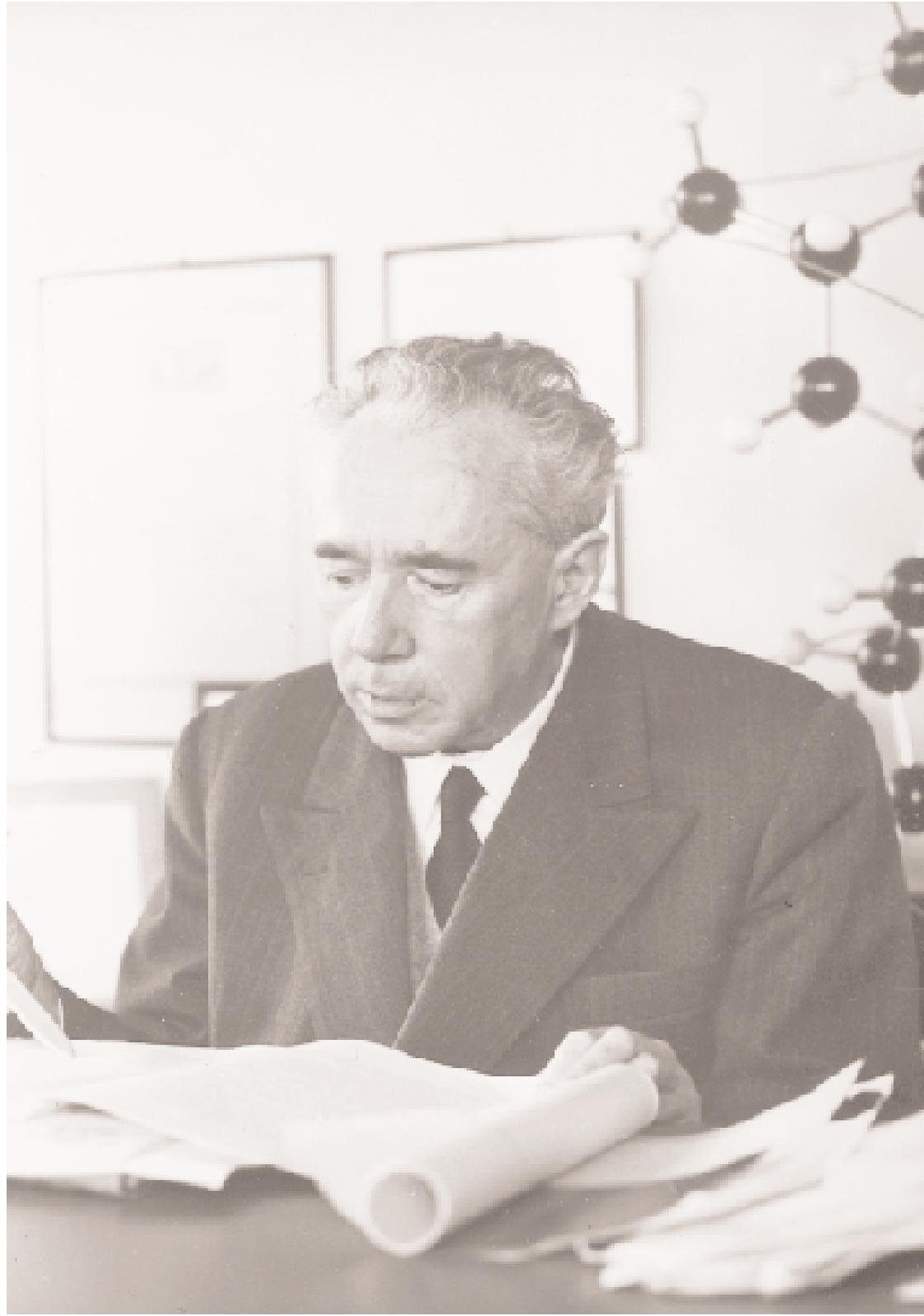
In the motivation by Fredga we read more: «Isotactic polymers show very interesting characteristics. Thus, while ordinary hydrocarbon chains are zigzag – shaped, isotactic chains form helices with the side groups pointing outwards. Such poly-

1.
Nel suo studio (1963)
In his study (1963)



legami metallo-carbonio. Questa addizione catalitica è molto più dolce di quella nota precedentemente su radicali liberi, che può dare invece catene con ramificazioni o altre anomalie.

Se invece dell'etilene si polimerizza il propilene, questo potrebbe dar luogo a catene, con un gruppo laterale metilico ($-\text{CH}_3$) ogni due atomi di carbonio; questo gruppo laterale potrebbe essere orientato a destra oppure a sinistra lungo la catena. Quando questi orientamenti sono distribuiti a caso, la catena ha una configurazione spaziale irregolare. Il professor Natta ha trovato tuttavia che certi tipi di



2.
Immagine di Giulio Natta,
alla vigilia del premio Nobel
Photo of Giulio Natta, on the
eve of the Nobel Prize

mers give rise to novel synthetic products such as fabrics which are light and strong at the same time, and ropes which float on the water, to mention only two examples.

Nature synthesizes many *stereoregular* polymers, for example cellulose and rubber. This ability has so far been thought to be a monopoly of Nature operating with biocatalysts known as enzymes. But now prof. Natta has broken this monopoly.»

The discovery of stereoregular polymers has produced and is still producing important consequences in the field of Pure and Applied Science. During a Meeting for the “Celebrazione del centenario della nascita del prof. Natta”, held in the days 12 and 13 of March at the Accademia dei Lincei, we have had the opportunity to hear many well known Professors and Researchers, Italian and foreigners, which have been recent “primi attori” in the comprehension of the mechanisms of the stereoselective catalysis of polymerisation, in the discovery and exploitation of new catalytic processes and their technologies and in the study of the structure and use properties of polymers. In a Round Table of Recollection, some “moments” have been recalled, related to the discovery of isotactic polypropylene and numerous other stereoregular polymers by prof. Natta and his direct collaborators.

The impact of the researches which have been conducted also on other fields of Chemistry and, more generally, on Science, Technology and Teaching have been discussed in the Meeting.

(On the more recent researches see for instance the paper by Paolo Corradini: “Regio- e stereoselettività nelle polimerizzazioni con catalizzatori Ziegler-Natta” in Volume 25 “Giornata Lincea: Enzimi e Catalizzatori Chimici”, Roma, Accademia Nazionale dei Lincei, 1998).

catalizzatori Ziegler portano a macromolecole *stereoregolari*, cioè a macromolecole con una struttura spazialmente uniforme. In queste catene tutti i gruppi laterali puntano a destra, oppure tutti a sinistra, e le catene si dicono isotattiche. L'intorno molecolare dell'atomo di metallo, sul quale si addizionano le unità monomeriche ha una forma tale, da permettere una sola orientazione definita per i gruppi laterali.

Queste dichiarazioni di Fredga, e dichiarazioni analoghe di Natta nel discorso d'investitura, si possono considerare profetiche rispetto a ritrovati scientifici e conclusioni certe ottenute molto più recentemente.

Nella motivazione di Fredga si legge ancora:

«I polimeri isotattici mostrano caratteristiche molto interessanti. Mentre le catene idrocarburiche ordinarie hanno una forma a zig-zag, le catene isotattiche formano eliche, da cui i gruppi laterali spuntano in fuori. Questi polimeri danno origine a nuovi prodotti sintetici, come tessuti che sono leggeri e forti nello stesso tempo e funi che galleggiano sull'acqua, per citare solo due esempi.

La Natura sintetizza molti polimeri *stereoregolari*, per esempio la cellulosa e la gomma. Si pensava finora che questo fosse un monopolio della Natura, che operava con biocatalizzatori noti come enzimi. Ma adesso il prof. Natta ha rotto questo monopolio.» La scoperta dei polimeri stereoregolari ha prodotto e sta ancora producendo importanti conseguenze nel campo della Scienza Pura e Applicata.

Durante un convegno relativo alla celebrazione del centenario della nascita del professor Natta, che si è tenuto nei giorni 12 e 13 marzo 2003 presso l'Accademia dei Lincei, hanno parlato illustri Professori e Ricercatori italiani e stranieri, che sono stati recenti primi attori nella comprensione dei meccanismi della catalisi stereoselettiva di polimerizzazione, nella messa a punto di nuovi processi catalitici e delle relative tecnologie e nello studio della struttura e delle proprietà d'uso dei polimeri. In una Tavola Rotonda sono stati ricordati alcuni momenti della scoperta del polipropilene isotattico e di numerosi altri polimeri stereoregolari da parte del prof. Natta e dei suoi diretti collaboratori, e più in generale l'impatto delle ricerche svolte anche in altri settori della Chimica e sulla Didattica.

(Sulle più recenti ricerche si veda ad esempio l'articolo di Paolo Corradini: “Regio- e stereoselettività nelle polimerizzazioni con catalizzatori Ziegler-Natta” nel Volume 25 “Giornata Lincea: Enzimi e Catalizzatori Chimici”, Roma, Accademia Nazionale dei Lincei, 1998).

Lido Porri

La Polimerizzazione stereospecifica. Come la Natura perse un monopolio The Stereospecific Polymerization. How Nature lost a monopoly

Synthetic macromolecular chemistry started around the '30s, after it was clarified, mainly as a result of Staudinger's research, that the high-molecular-weight organic substances have a covalent structure as the common low-molecular-weight organic compounds.

Chemists very soon identified various methods for macromolecule synthesis, based either on polycondensation reactions or on the use of radical, anionic and cationic initiators.

However, chemists were unable to synthesize macromolecules having a regular structure when sites of steric isomerism, i.e., tertiary carbon atoms (which can adopt two different configuration) or double bonds (which also can adopt two different configurations, E and Z) were formed in the course of the polymerization process.

Nature only Natta was able to produce, through complex reactions catalyzed by enzymes, stereoregular polymers. Cellulose, natural rubber, guttapercha, proteins, DNA, some polyesters produced by bacteria are examples of stereoregular natural polymers.

In the years 1952-1954, polymerization methods were discovered that allowed chemists to synthesize stereoregular polymers, crystalline or capable of crystallizing: it was the beginning of a new era in polymer science, the era of the stereospecific polymerization.

The first act of this story began in Mühlheim, Germany, in the laboratories of "Max-Planck

La chimica macromolecolare sintetica prese inizio intorno agli anni '30, dopo che fu chiarito, attraverso i lavori di Herman Staudinger, che le sostanze ad alto peso molecolare hanno struttura covalente, come i comuni composti organici.

I chimici individuavano ben presto vari metodi per la sintesi di macromolecole, mediante policondensazione, con l'impiego di iniziatori radicalici, cationici od anionici. Nel corso degli anni trenta sorse anche una fiorente industria dei polimeri.

I chimici tuttavia non riuscivano ad ottenere macromolecole a struttura regolare quando nella polimerizzazione si formano siti di isomeria sterica, cioè atomi di carbonio terziari (che possono assumere due opposte configurazioni) o doppi legami (che possono anch'essi assumere due diverse configurazioni, E o Z). Solo la natura sapeva produrre, attraverso reazioni catalizzate da enzimi, polimeri stereoregolari, come la cellulosa, la gomma naturale, la guttaperca, le proteine, il DNA, alcuni poliesteri prodotti da batteri. Tuttavia, negli anni 1952-1954 furono scoperti metodi di polimerizzazione che permisero anche ai chimici di ottenere in laboratorio polimeri regolari, cristallini od in grado di cristallizzare: ebbe inizio l'era della polimerizzazione stereospecifica.

Il primo atto di questa storia ha inizio a Mühlheim, in Germania, al Max-Planck Institut für Kohlenforschung, dove il Professor Karl Ziegler, direttore dell'Istituto, e il suo gruppo arrivarono ad individuare, attraverso ricerche sistematiche, che il sistema catalitico costituito dal prodotto di reazione tra alluminio trietile e titanio tetracloruro era in grado di polimerizzare l'etilene ad alto polimero essenzialmente lineare in condizioni blande. Si trattava di una grande scoperta, destinata a rivoluzionare la chimica macromolecolare.

Natta seguiva da tempo gli studi di Ziegler ed aveva suggerito alla Montecatini, di cui era consulente, di acquisirne i brevetti. Per poterci rendere conto degli sviluppi che ebbe in seguito la vicenda, occorre tenere presente che nell'Istituto di Natta lavoravano fino dal 1952 una ventina circa di chimici neoassunti dalla Montecatini, che seguivano un corso biennale di perfezionamento, costituito essenzialmente da lavoro di ricerca. Oltre ai chimici, la Montecatini aveva fornito anche strumenti scientifici e materiale di laboratorio.

Una volta a conoscenza dei brevetti Ziegler sulla polimerizzazione dell'etilene col sistema $AlEt_3-TiCl_4$, Natta iniziò col suo gruppo ad esaminare la polime-

stitut für Kohlenforschung". Professor Karl Ziegler, Institut Director, and his group after a systematic research, discovered that the product of the reaction between triethyl aluminum and titanium tetrachloride was an active catalyst for the polymerization of ethylene to essentially linear high polymers, under very mild conditions. It was a great discovery, destined to revolutionize macromolecular chemistry in the following years.

Natta was paying much attention since 1952 to Ziegler's research and had suggested to Montecatini, for which he was consulting, to purchase the rights of Ziegler's patents.

It is necessary to mention at this point that since 1952 about 20 Montecatini chemists were working in Natta's Institute, for a training period consisting almost exclusively of research work. In addition to young chemists, Montecatini also supplied Natta's Institute with modern instrumentation and laboratory equipment.

Once informed of the results obtained by Ziegler on the polymerization of ethylene with the catalyst aluminum triethyl - titanium tetrachloride, Natta and his group started to investigate the polymerization of propylene, using the same catalyst of Ziegler. Propylene was polymerized in March 1954, and a patent was filed in June of the same year. The polymerization product appeared heterogeneous in composition, but the group of Milan used an innovative fractionation process, based on the extraction with successive solvents, which allowed the composition of the polymerization product to be fully clarified.

Extraction with boiling acetone allowed one to separate the low-molecular-weight oily products; extraction with boiling diethyl ether allowed one to separate amorphous polypropylene; the residue consisted of crystalline polypropylene. X-ray investigation of the crystalline fraction showed that the crystallinity was due to the fact that the tertiary carbon atoms of each chain had the same configuration, at least for long sections of the main chain. Natta coined the term *isotactic* to indicate polymers with this steric structure.

Shortly after, isotactic polymers were also obtained from 1-butene and from styrene.

In August 1954 also the group of Ziegler filed a patent on the polymerization of propylene and other patents were filed later by other groups. This means that the polymerization of propylene with Ziegler catalyst was not by itself a difficult task,

rizzazione del propilene, usando inizialmente lo stesso catalizzatore di Ziegler. Il propilene fu polimerizzato nel marzo '54 ed un brevetto di prodotto e di procedimento fu depositato nel giugno dello stesso anno. Il prodotto di polimerizzazione appariva eterogeneo ed il gruppo di Milano mise a punto un processo di frazionamento innovativo, basato sulla estrazione con solventi successivi all'ebollizione, che permise di chiarire la composizione del prodotto di polimerizzazione.

L'estrazione con acetone permetteva di separare i prodotti a basso peso molecolare, oleosi; l'estrazione con etere all'ebollizione permetteva di separare il polipropilene amorfo; il residuo all'estrazione eterica era costituito da polimero cristallino. L'esame di quest'ultimo mediante i raggi-x mostrò che la cristallinità era dovuta al fatto che gli atomi di carbonio terziari di ogni catena avevano, almeno per lunghi tratti, la stessa configurazione. Natta conìò il termine isotattico per questi polimeri stereoregolari.

Poco dopo polimeri isotattici vennero ottenuti anche dal butene-1 e dallo stirene.

Nell'agosto 1954 anche il gruppo di Ziegler depositò un brevetto sulla polimerizzazione del propilene ed altri brevetti furono depositati successivamente da gruppi che erano a conoscenza del sistema catalitico scoperto da Ziegler. Il che significa che la polimerizzazione del propilene non era di per se una cosa difficile, una volta noto il sistema Ziegler, ma se si confronta il brevetto Natta con gli altri brevetti depositati poco dopo ci si rende conto di quanto grande fosse la distanza fra il gruppo di Natta e gli altri gruppi. Nel brevetto Natta il prodotto viene frazionato con un metodo innovativo che risultò estremamente efficiente per separare prodotti secondo la loro stereoregolarità; viene riportata una caratterizzazione completa di ogni frazione; si afferma che i polimeri cristallini hanno struttura isotattica; si riconosce l'importanza della stereoregolarità sulle proprietà dei polimeri e quindi sul loro impiego pratico. Nei brevetti depositati da altri gruppi il prodotto di polimerizzazione non viene frazionato, non si parla di cristallinità, e ovviamente neanche di stereoregolarità. In altre parole, il gruppo di Natta si era reso conto dell'importanza di quello che aveva ottenuto, gli altri gruppi no.

Nell'ottobre del 1954 il catalizzatore Ziegler venne modificato sostituendo il $TiCl_4$ con $TiCl_3$ cristallino. Il catalizzatore modificato risultò di importanza notevole sul piano pratico perché permetteva di ottenere un prodotto di polimerizzazione contenen-

what was difficult was to recognize what was obtained. If one compares the patent filed by Natta's group with those filed later by other groups he immediately realizes how big the distance was between Natta's group and the other groups.

In Natta's patent the polymerization product was fractionated by an innovative method that was found to be extremely efficient in separating macromolecules having a different degree of stereoregularity. In addition, every fraction was fully characterized; it was demonstrated by x-ray data that the crystalline fraction had an isotactic structure; it was recognized the importance of stereoregularity on the polymer properties and hence on their practical use. In the patents of the other groups polypropylene characterization was made only by infrared methods, no fractionation or x-ray examinations were reported. In conclusion, Natta's group recognized the importance of what they had obtained, while the other groups did not.

In November 1954 the group of Milan made a significant change to Ziegler's catalysts. $TiCl_4$ was replaced by $TiCl_3$, which increased stereospecificity from about 40% to about 80%. This paved the way for the commercial production of isotactic polypropylene, which started in Ferrara in 1958. However, the synthesis of isotactic polymers from propylene, 1-butene and styrene was only the beginning of a long story, Natta understood that the new catalysts were causing a revolution in polymer chemistry and therefore decided to extend the investigation to other classes of monomers: conjugated diolefins, cycloalkenes, acetylenes. Surprising results were obtained.

In april 1955, butadiene was polymerized to a crystalline polymer having a 1,2 structure characterized by the fact that in each macromolecule the tertiary carbon atoms had alternately an opposite configuration. Natta coined the term syndiotactic to indicate polymers of this structure (from the greek sinduo, every two).

A few months later, in October 1955, butadiene was polymerized to a polymer having a 1,2 isotactic structure, which showed for the first time that a monomer can be polymerized to isotactic or syndiotactic polymers depending on the catalyst used. It now appears obvious that a monomer can give, at least in principle, isotactic or syndiotactic polymers, but at that time, 1955, it was not. Another two stereoregular polymers were obtained from butadiene (with a cis-1,4 and a trans-1,4

te un'alta frazione di polimero isotattico, circa l'80% contro circa il 40% del catalizzatore a base di $TiCl_4$. Il nuovo catalizzatore facilitò la via per la produzione industriale di polipropilene, che iniziò a Ferrara 4 anni dopo.

La sintesi del polipropilene, polibutene e polistirene isotattici fu solo l'inizio di una lunga storia. Natta si era reso conto prima di altri che i catalizzatori a base di metalli di transizione stavano provocando una rivoluzione per la loro capacità di controllare stericamente una polimerizzazione e decise di estendere il lavoro ad altre classi di monomeri idrocarburi, come le diolefine coniugate, le cicloolefine, i monomeri acetilenici. I risultati furono sorprendenti.

Nell'aprile '55 dal butadiene fu sintetizzato un polimero a struttura 1,2, che presentava un nuovo tipo di stereoregolarità: gli atomi di carbonio terziati di ogni catena avevano alternativamente configurazione opposta. Natta conì il termine sindiotattico per indicare polimeri aventi questo tipo di ordine sterico (dal greco sinduo, ogni due). Nell'ottobre dello stesso anno, sempre dal butadiene, fu ottenuto un polimero 1,2 a struttura isotattica, il che dimostrò per la prima volta che uno stesso monomero poteva essere polimerizzato a polimero isotattico o sindiotattico, secondo il catalizzatore usato. Questi concetti appaiono ovvi ora, ma erano innovativi nel '55. In rapida successione, polimeri stereoregolari nuovi furono ottenuti dal butadiene, dall'isoprene, dal pentadiene e altre diolefine coniugate.

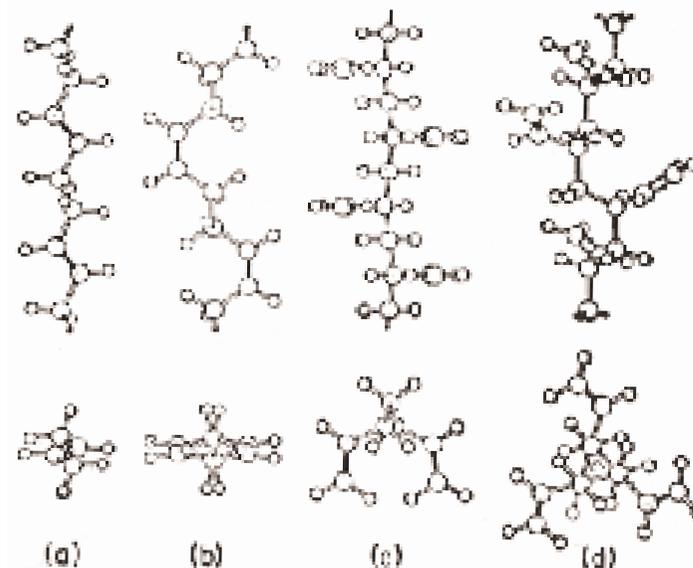
Polimeri stereoregolari furono ottenuti anche da cicloolefine tensionate, quali il ciclobutene e il norbornene. Furono ottenuti copolimeri alternati stereoregolari da etilene e rispettivamente butene-2, ciclopentene e butadiene; fu isolato e caratterizzato il polipropilene sindiotattico e ottenuto un polimero cristallino dall'acetilene.

Il mondo chimico assisteva sorpreso ai risultati che arrivavano da Milano, inattesi e fortemente innovativi. Appariva chiaro che il lavoro di Natta e del suo gruppo aveva segnato l'inizio di una nuova era nel campo della scienza dei polimeri. Negli anni dal 1954 al 1963 il gruppo del Professor Natta aveva sintetizzato alcune decine di polimeri stereoregolari; ne aveva determinato la struttura cristallina; ne aveva esaminato le proprietà chimiche, fisiche e tecnologiche; ne aveva studiato il meccanismo di formazione; aveva posto le basi della stereochemica macromolecolare.

Vogliamo qui riportare due documenti che testimo-

2.

Conformazioni di catena dei quattro stereoisomeri cristallini del polibutadiene, determinati nell'Istituto di Giulio Natta
Chain conformations of the four crystalline polybutadiene stereoisomers as determined in the Institute of Giulio Natta



structure), so that all the four foreseeable stereoregular polybutadienes were obtained in a few months.

Stereoregular polymers were also obtained from other conjugated dienes, such as isoprene, 1,3-pentadiene, several other substituted butadienes, as well as from small ring cycloalkenes such as cyclobutene and norbornene.

Crystalline alternating copolymers of ethylene/cyclopentene, ethylene/2-butene and ethylene/butadiene were obtained, syndiotactic polypropylene was also isolated and characterized, acetylene was

niano di quanta stima godesse il Professore Natta ed il suo gruppo presso la comunità chimica internazionale.

I) Nel 1961 il Journal of Polymer Science, una delle più quotate riviste internazionali di chimica macromolecolare dell'epoca, dedicò un numero a Natta (Vol. 51, Issue 156) "to express appreciation to the man who first established with vigorous scientific methods the existence of stereoregular polymers". L'Editor della rivista, che chiamò Natta il "padre dei polimeri stereoregolari", scrisse nell'introduzione al numero:

polymerized to crystalline trans polymers. The chemical world watched surprised at the results, unexpected and highly innovative, coming from the group of Milan. It was clear that the work of Natta and his group was marking the beginning of a new era in polymer science. In the years 1954-1963 Natta's group had synthesized a large number of stereoregular polymers; had determined their crystalline structure; had examined their chemical, physical and technological properties; had studied their mechanism of formation; had laid the fundamentals of polymer stereochemistry.

We report here two documents that witness how Natta and his group were highly appreciated by the international chemical community.

I) In 1961 the Journal of Polymer Science, one of the highly ranked journals of polymer science at the time, dedicated an issue (Vol. 51; Issue 156) to Natta "to express appreciation to the man who first established with vigorous scientific method the existence of stereoregular polymers". The Editor of the Journal, who called Natta "the father of stereoregular polymers", wrote in the Introduction to the Issue:

"Seldom has a scientific contribution aroused such profound fundamental interest and has been followed by such a rapid technical development as the series of publications by Professor Giulio Natta and coworkers on the stereospecific polymerizations of olefins, which started to appear in Italian journals several years ago and have continued ever since. Many prominent scientists in very large research laboratories have become interested in the new technique and have focused their interests and efforts on its promotion. Yet Professor Natta has succeeded in maintaining undisputed leadership and continues to surprise his colleagues by new and unexpected discoveries along the general principles of stereoregulation".

II) A prominent English scientist, Professor Robert Robinson, Nobel Prize in Chemistry 1947, wrote the following comment on Natta's research (Rubber and Plastic Age, 1961, pag. 1195):

"Natta has developed the theme of polymerization as a grandiose fugue. The successful initiation, prosecution and completion of so much and so varied research is the result of his unusual originality, drive and power of sustained work".

Even today many think that Natta was awarded the Nobel Prize for the synthesis of isotactic polypropylene. This polymer is certainly the most important stereoregular polymer from the practical

2.

La foto, ripresa nell'autunno 1963, ritrae il Prof. Natta insieme con alcuni collaboratori. Da sinistra: Lido Porri, Mario Pegoraro, Piero Pino, Raffaele Ercoli, Enrico Mantica, Ferdinando Danusso, Giulio Natta, Gino Dall'Asta, Mario Farina

Photo, taken in autumn 1963, show Prof. Natta with some collaborators.

From the left: Lido Porri, Mario Pegoraro, Piero Pino, Raffaele Ercoli, Enrico Mantica, Ferdinando Danusso, Giulio Natta, Gino Dall'Asta, Mario Farina



"Seldom has a scientific contribution aroused such profound fundamental interest and has been followed by such a rapid technical development as the series of publications by Professor Giulio Natta and coworkers on the stereospecific polymerization of olefins, which started to appear in Italian journals several years ago and have continued ever since. Many prominent scientists in very large research laboratories have become interested in the new technique and have focused their interests and efforts on its promotion. Yet Professor Natta has succeeded in maintaining undisputed leadership and continues to surprise his colleagues

point of view, but Natta received the Nobel Prize because he opened a new era in polymer science, the era of stereospecific polymerization. From the motivation of the Prize:

"Nature synthesizes many stereoregular polymers, for example cellulose and rubber. This ability has so far been thought to be a monopoly of Nature operating with biocatalysts known as enzymes. But now Professor Natta has broken this monopoly".

We may ask what determined the scientific success of Natta and his group. In my opinion, the following two factors are of particular importance.

by new and unexpected discoveries along the general principles of stereoregulation".

II) Un eminente scienziato inglese, il Professor Robert Robinson, premio Nobel per la Chimica 1947, scrisse nel 1961 (Rubber and Plastics Age, 1961, pag. 1195), a proposito del lavoro svolto al Politecnico di Milano.

"Natta has developed the theme of polymerization as a grandiose fugue. The successful initiation, prosecution and completion of so much and so varied research is the result of his most unusual originality, drive and power of sustained work".

3.

Da sinistra di spalle Gino Dall'Asta, Piero Pino, Italo Pasquon, Lido Porri, Giulio Natta, Raffaele Ercoli, Enrico Mantica.

From the left with his back to the camera Gino Dall'Asta, Piero Pino, Italo Pasquon, Lido Porri, Giulio Natta, Raffaele Ercoli, Enrico Mantica.



- 1) The intuition of Natta, who was the first to recognize that the transition metal catalysts, because of their power to stereocontrol a polymerization, were causing a revolution in polymer science.
- 2) The organization that Natta gave to his Institute, where chemists, physicists, spectroscopists, crystallographers were working together on the same project, which allowed an interdisciplinary approach to the problems. Most of the people working in Natta's Institute were Montecatini employees and without the work of this group and Montecatini's financial support it would have been difficult to maintain for several years the leadership in polymer science.

4.

Da sinistra.
In prima fila: Ferdinando Danusso, Giuseppe Allegra, Giulio Natta.
In seconda fila: Lido Porri, Piero Pino, Mario Farina, Gino Dall'Asta, Raffaele Ercoli, Italo Pasquon, Giovanni Crespi.

From the left.

First row:
Ferdinando Danusso, Giuseppe Allegra, Giulio Natta.
Behind: Lido Porri, Piero Pino, Mario Farina, Gino Dall'Asta, Raffaele Ercoli, Italo Pasquon, Giovanni Crespi.

Ancora oggi molti ritengono che Natta abbia ricevuto il premio Nobel per la sintesi del polipropilene isotattico. Questo polimero è certamente il più importante sul piano industriale tra i polimeri stereoregolari sintetizzati a Milano, ma il Premio Nobel è stato attribuito a Natta perché le sue ricerche hanno dato inizio ad una nuova era nella scienza dei polimeri, l'era della polimerizzazione stereospecifica.

Dalla motivazione del Premio Nobel:

“La natura sintetizza molti polimeri stereoregolari, per esempio la cellulosa e la gomma. Si era finora ritenuto che questa capacità fosse un monopolio della Natura, che agisce con biocatalizzatori noti come enzimi. Ma ora il Professor Natta ha rotto questo monopolio.”

Ci si può chiedere quali fossero i fattori che determinarono il successo di Natta e del suo gruppo. A giudizio di chi scrive due sono i fattori più importanti.

- 1) L'intuito di Natta, che si era accorto prima di altri che i catalizzatori a base di metalli di transizione stavano provocando, per la loro capacità di controllare stericamente una polimerizzazione, una rivoluzione nel campo della chimica macromolecolare.
- 2) L'organizzazione che Natta aveva dato al suo istituto, dove chimici, strutturisti, fisici lavoravano sullo stesso progetto, rendendo possibile un approccio interdisciplinare ai problemi. La maggior parte dei ricercatori del gruppo Natta erano giovani dipendenti Montecatini; senza il loro contributo e senza il supporto in mezzi della Montecatini sarebbe stato certamente difficile mantenere per tanti anni (almeno otto o nove) quella “undisputed leadership” nel campo della polimerizzazione stereospecifica di cui parla il Journal of Polymer Science.



Giorgio Mazzanti

La collaborazione tra il Politecnico e la Montecatini negli anni '50-'60

The collaboration between the Politecnico di Milano and Montecatini in the 1950s-1960s

It seems to me appropriate to remember the making and development of the collaboration between the Institute for Industrial Chemistry of the Politecnico di Milano and Montecatini in the 1950s-1960s, though the "surrounding conditions" and the situation of Italian chemical industry as well as that of the University are very different today.

In the early 1950s, Italy was completing its reconstruction after the war. The industrial sector had just left a long period of isolation and protectionism and was becoming aware of the need to rapidly adopt new technologies and bring out new products. In Universities there was a commonly shared belief that, together with teaching, research had to have room, also seen as the premise for up-to-date high-level teaching.

Starting from March 1952, Montecatini, aware of the need to have chemists particularly well prepared in the field of Petrochemistry (which was at its outset in Italy), established "Specialising Courses in Aliphatic Organic Chemistry" for 12-15 chemistry graduates who were initially chosen directly by professor Natta and his assistant Piero Pino, based on long professional interviews. Subsequently, these interviews were carried out by Raffaele Ercoli and myself. Well, I can assure that the invitation to interviews, the selection and the hiring (that was then carried out by the Personnel Department at Montecatini) took place without being obliged to take into account coercion, heartfelt presentations,

Mi pare opportuno ricordare come si è realizzata e sviluppata la collaborazione tra l'Istituto di Chimica Industriale del Politecnico e la Montecatini negli anni '50-'60 anche se le "condizioni al contorno" e la situazione dell'industria chimica italiana così come quella dell'Università sono oggi molto diverse.

All'inizio degli anni '50 l'Italia stava completando la sua ricostruzione post-bellica. L'industria era da poco uscita da un lungo periodo di isolamento e protezionismo e si rendeva conto della necessità di adottare rapidamente nuove tecnologie e disporre di nuovi prodotti. Nell'Università era molto radicato il convincimento che insieme all'insegnamento doveva avere ampio spazio la ricerca, vista anche come premessa per un insegnamento di alto livello aggiornato.

A partire dal marzo '52 la Montecatini, essendo conscia della necessità di disporre di chimici particolarmente preparati nel settore della Petrochimica (che stava nascendo in Italia), realizzò dei "Corsi di Specializzazione in Chimica Organica Alifatica" per 12-15 laureati in chimica che inizialmente vennero scelti direttamente dal Professor Natta e dal suo assistente Piero Pino, in base a lunghi colloqui professionali. Successivamente questi colloqui furono condotti da Raffaele Ercoli e da me stesso. Ebbene, posso assicurare che l'invito ai colloqui, la selezione e l'assunzione (che veniva poi perfezionata dall'Ufficio Personale della Montecatini) avvennero senza che si dovesse tenere conto di raccomandazioni, di calorose presentazioni, ecc. ecc..

I Corsi si basavano su un anno di ricerca sperimentale e di lezioni teoriche tenute in parte da docenti del Politecnico e in parte da tecnici dell'Industria. Subito dopo i primi risultati nel settore di polimerizzazioni stereospecifiche, ossia a partire dalla primavera del 1954, la Montecatini incrementò sostanzialmente il numero dei suoi dipendenti presso il Politecnico anche con il trasferimento di chimici dai suoi Centri di Ricerca (così arrivò Lido Porri dal Donegani di Novara nell'estate del '54). La Montecatini finanziò anche l'acquisto di tutte le apparecchiature che via via si rendevano necessarie. È da ricordare la semplicità e la mancanza di qualsiasi burocrazia nei rapporti tra la Montecatini e l'Istituto. Ai laureati della Montecatini non erano richieste relazioni periodiche. In realtà, quando dovevano scrivere qualcosa si trattava di bozze di domande di brevetto o di lavori da pubblicare che

etc. etc..

The Courses were based on one year of experimental research and theoretical lessons partly held by Politecnico Professors and partly by Industry Experts.

Soon after the first results in the field of stereospecific polymerisations, i.e. starting from spring 1954, Montecatini substantially increased the number of its staff at the Politecnico by also transferring chemists from its Research Centres (this is how Lido Porri came from Donegani, Novara in Summer 1954). Montecatini also financed the purchase of all the equipment that became necessary.

It is worth mentioning the simplicity and the lack of any bureaucracy in the relationships between Montecatini and the Institute. Montecatini graduates were not asked for periodical reports. In reality, when they had to write something, it was drafts of patent requests or of reports to be published that were then discussed in detail and deeply with Professor Natta.

The development in pilot plants of research projects carried out at Politecnico was mainly carried out at the Montecatini Research Centre in Ferrara and, for fibres and polypropylene films, at the Terni Research Centre.

The issue was developing in pilot plants and then on an industrial scale not just one single procedure, one single product, but various productions, particularly: aluminium alkyls (with all their dangers), new polyethylene, isotactic polypropylene, fibres and polypropylene films and ethylene-propylene rubbers.

Such an enormous development effort was carried out in a very short time. The first isotactic polypropylene industrial production was carried out in the XXIIIrd plant of the Ferrara factory in 1957, only 3 years after filing the product and process patents.

Relationships between the Politecnico and Montecatini in Ferrara (research centre, pilot plants and production plants) took place without the appointment of a "Co-ordinator" or the establishment of a "Co-ordination Committee". Everything was made by means of frequent visits of "those from the Politecnico" in Ferrara and similarly frequent visits of "those from Ferrara" to the Politecnico.

I do not want to dwell here on the economic benefits gained by Montecatini and, subsequently,

venivano poi discusse dettagliatamente e approfonditamente con il Professor Natta.

Lo sviluppo in impianti pilota delle ricerche condotte al Politecnico avveniva per la maggior parte al Centro Ricerche della Montecatini di Ferrara e, per le fibre e i film di polipropilene, al Centro Ricerche di Terni.

Si trattava di sviluppare in impianti pilota e poi su scala industriale non un solo procedimento, un solo prodotto ma diverse produzioni, in particolare: gli alluminio alchili (con tutta la loro pericolosità), il nuovo polietilene, il polipropilene isotattico, le fibre e i film di polipropilene e le gomme etilene-propilene.

Questo enorme sforzo di sviluppo fu compiuto in tempi brevissimi. La prima produzione industriale di polipropilene isotattico si realizzò nell'impianto XXIII della fabbrica di Ferrara nel 1957, solo 3 anni dopo il deposito dei brevetti di prodotto e di processo.

I rapporti tra il Politecnico e la Montecatini di Ferrara (centro ricerche, impianti pilota e impianti di produzione) avvenivano senza che fosse stato nominato un "Coordinatore" o istituito un "Comitato di Coordinamento". Tutto si è realizzato con frequenti visite di "quelli del Politecnico" a Ferrara e altrettanto frequenti visite di "quelli di Ferrara" al Politecnico.

Non voglio qui soffermarmi sul vantaggio economico che hanno ottenuto la Montecatini e, successivamente, la Montedison dalla produzione del polipropilene (come materia plastica, come fibra e come film), delle gomme etilene-propilene e dalla cessione di licenze brevettuali e di know-how. Voglio invece citare un aspetto di cui forse non si è mai parlato. Il grande successo ottenuto con le ricerche condotte al Politecnico aveva confermato in Piero Giustiniani la fiducia da lui riposta non soltanto in Giulio Natta ma nella ricerca in generale, come strumento essenziale per l'industria chimica. Quel successo entusiasma anche i Capi dei vari Settori della Società e, "giù per i rami", l'entusiasmo si diffuse a tutti i livelli, promuovendo una generale attenzione verso l'innovazione e verso il continuo miglioramento delle produzioni in corso.

Ricordando l'entusiasmante avventura vissuta negli anni '50-'60 sono inevitabilmente indotto a cercare d'identificare alcuni fattori che, tuttora, potrebbero

Montedison from polypropylene production (as plastic, fibre and as film), from ethylene-propylene rubber and from the sale of patent licences and know-how. I want to mention an issue that may never have been discussed. The great success obtained through the research projects carried out at the Politecnico confirmed in Piero Giustiniani the trust he placed not only in Giulio Natta but in research in general, as an essential tool for the chemical industry. That success raised enthusiasm also in the top managers of the various Company Departments and “top-bottom” the enthusiasm was disseminated at all levels, and promoted a general attention towards innovation and constant improvement of existing productions.

Remembering the enthusiastic adventure experienced in the 1950s-1960s, I am inevitably induced to try and identify some factors which could still contribute – certainly not on their own – to a fruitful collaboration between the Chemical Industry and University.

First of all direct, open and frequent exchange should be maintained. In this exchange, it would be up to:

- the University to point to Industry new reactions, new molecules or new materials that can have prospects to bring to application developments (as was the case of the day Giulio Natta mentioned to Montecatini a strange and elegant reaction by means of which ethylene was added on aluminium-carbon bonds);

- the Chemical Industry to have in itself, not just in its Research Centres, but also at high decision-making level, the sensitivity to receive and assess this kind of messages. It would also be up to the Chemical Industry – when informed about a new product or a new material – to understand in which field it could be applied and then check such opportunity inside the industry or outside thanks to a network of connections with other industrial sectors. I know very well that these remarks can be ranked and then quickly dismissed as totally obvious. It is however true that it is very difficult to put them into practice and, moreover, in the short times granted by an increasingly competitive industrial situation. But Giulio Natta and Piero Giustiniani, the Politecnico and Montecatini, in the 1950s, fully managed to do so.

contribuire - certamente non da soli - a una fruttifera collaborazione tra Industria Chimica e Università.

Innanzitutto occorrerebbe mantenere un dialogo diretto, aperto e frequente. In questo dialogo spetterebbe:

- all'Università segnalare all'Industria nuove reazioni, nuove molecole o nuovi materiali che possano avere le premesse per portare a sviluppi applicativi (così come un giorno Giulio Natta segnalò alla Montecatini una strana e elegante reazione per cui l'etilene si addizionava sui legami alluminio-carbonio);

- all'Industria Chimica avere al proprio interno, non soltanto nei propri Centri di Ricerca, ma anche ad alto livello decisionale, la sensibilità per ricevere e valutare questo tipo di messaggi. Spetterebbe anche all'Industria Chimica - quando informata di un nuovo prodotto o di un nuovo materiale - capire in quale campo esso potrebbe trovare applicazione verificando poi questa possibilità al proprio interno o all'esterno grazie a una rete di collegamenti con gli altri settori industriali. So bene che queste considerazioni possono essere classificate e quindi sbrigativamente liquidate come del tutto ovvie. È però vero che è molto difficile tradurle in pratica e, per di più, nei tempi brevi concessi da una realtà industriale sempre più competitiva. Però Giulio Natta e Piero Giustiniani, il Politecnico e la Montecatini, negli anni '50, ci sono riusciti pienamente.

1.
Con alcuni collaboratori (1957). Da sinistra: Mario Farina, Giorgio Mazzanti e Lido Porri
With some collaborators (1957). From the left: Mario Farina, Giorgio Mazzanti e Lido Porri



Sergio Carrà

Quali prospettive per la chimica italiana? What prospects for Italian chemistry?

Some observers have remarked that the Conferences promoted to celebrate Giulio Natta this year and Enrico Fermi two years ago, have contributed, among other things, to highlight how these scientists belonged to an age when research and industry played a paramount role in our country, but which is now to be considered as over. Natta gave a fundamental contribution to the implementation of significant industrial chemical processes, granting in particular an absolute quality leap to polymer science and technology. The core of his activity began in the aftermath of the war, when the scene of research, technology and the production of consumer goods was dominated by petroleum chemistry, i.e. that branch of industrial chemistry that deals with the transformation of hydrocarbons in compounds and materials for other uses than those in the field of energy. In the first years of the second half of last century, Italy boasted great liveliness in its business world, which fostered the development of multiple qualified industrial ventures, where chemistry took on a major role. These activities, led by various industrial companies, were included in a wide competitive scenario, where the main actors were well-trained world, academic and industrial research centres. All this in the full awareness that innovative industrial ventures could only stem from the synergy between research and development. Unfortunately, starting from the 1970s, an involution process started, following which a great part of manufacturing operations which requested high skills and which therefore played a main role in the

Da parte di alcuni commentatori è stato osservato che i diversi Convegni promossi per celebrare quest'anno Giulio Natta e due anni fa Enrico Fermi, abbiano fra le altre cose contribuito ad evidenziare come tali scienziati siano appartenuti ad un'epoca nella quale la ricerca e l'industria giocavano un ruolo di primo piano nel nostro paese, ma che si deve purtroppo considerare superata. Natta ha contribuito in modo determinante all'affermazione di importanti processi chimici industriali, conferendo in particolare alla scienza e alla tecnologia dei polimeri un autentico salto di qualità. Il cuore della sua attività ha avuto inizio a partire dall'immediato dopoguerra, quando lo scenario della ricerca, della tecnologia e della produzione dei beni di consumo era dominato dalla petrolchimica, ovvero da quella parte della chimica industriale che riguarda la trasformazione degli idrocarburi in composti e materiali destinati a usi diversi da quello energetico. All'inizio della seconda metà del secolo scorso l'Italia poteva vantare una notevole vivacità imprenditoriale, la quale ha favorito lo sviluppo di molteplici qualificate iniziative industriali in cui la chimica occupava un ruolo di primo piano. Queste attività, che facevano capo a diverse società industriali, erano inserite in uno scenario competitivo di ampio respiro nel quale si trovavano impegnati agguerriti centri di ricerca mondiali, accademici e industriali. Tutto ciò con la piena consapevolezza che solo dalla sinergia fra la ricerca e lo sviluppo potessero emergere iniziative industriali innovative. Purtroppo a partire dagli anni settanta ha avuto inizio un processo involutivo a conseguenza del quale gran parte delle attività produttive che richiedevano alte competenze, e che giocavano pertanto un ruolo primario nello sviluppo economico e nella creazione di nuovi posti di lavoro qualificato, sono state cedute ad operatori stranieri. Nel contempo ha avuto luogo un ripiegamento su attività terziarie e di servizio, ignorando che se non sono dimensionate alle vere necessità diventano parassitarie e frenanti. Inoltre favoriscono una eccessiva burocratizzazione. Infine per la prevalenza di interessi puramente finanziari si sono indebolite le vocazioni verso quelle attività scientifiche e imprenditoriali che stanno alla base del vero tessuto industriale di un paese. Per fare un esempio concreto, e paradossale, attualmente vengono prodotti nel mondo circa 5 kg all'anno per ogni abitante del pianeta di polipropi-

economic development and in the creation of new skilled jobs, were sold to foreign companies. Meanwhile, there was a turning to service operations, ignoring that unless they are really sized to need they become parasite and curbing. Besides, they favour excessive bureaucracy. Last, due to the prevalence of purely financial interests, inclinations towards those scientific and business operations that are at the base of the real industrial texture of a country have been weakened. To make an example, which is paradoxical, currently in the world there are produced around 5 kg per year per every man on the planet of polypropylene by means of the Ziegler-Natta process. In this activity, Italy only plays a marginal role, since operating plants are owned by a multinational company, Basell, basically stemming from the merger between German Basf and Dutch Shell. This is not the place to drill down into the political, social and economic reasons that have led to the now widely acknowledged decay of the industrial system in our country. However, in order to make estimates on prospects to recover full competitiveness, two aspects need be examined. The first has to do with the nature and features of existing operations in global chemical industry, now or in the near future, while the second deals with the current industrial structure of our country. The landscape of industrial chemistry and chemical engineering has deeply changed with respect to that after the war, since from an approach basically focused on the implementation of large scale processes, typical of petroleum chemistry, it turned to lesser sized productions, typical of the so called fine and secondary chemistry. They are intimately connected with social and service operations and are especially devoted to health. In this picture, the kinds of products requested by the market is strictly connected with their use. For example, a polymer must be compatible with human tissues since only at these conditions can it be used to manufacture artificial replacements and organs. An adhesive must be able to offer effective performances also in extreme conditions, while dyes must meet the sometimes extravagant requests of fashion. Building materials must simultaneously comply with the most severe mechanical and heat tests and meet the most different visual requests. In this scenario, where chemistry remains an essential strength, technical skills must interact with artistic needs and at the same time strictly comply with

lene con il processo Ziegler-Natta. In questa attività l'Italia è presente solo marginalmente poiché gli impianti operativi fanno capo ad una società multinazionale, la Basell, sostanzialmente derivata dalla fusione della tedesca Basf e della olandese Shell. Non è questa la sede per approfondire le ragioni politiche, sociali ed economiche che hanno portato all'ormai largamente riconosciuto degrado del sistema industriale del nostro paese. Tuttavia per poter avanzare previsioni sulle prospettive che si presentano per recuperare una piena competitività è necessario soffermarsi su due aspetti. Il primo riguarda la natura e le caratteristiche delle attività in corso nel settore chimico mondiale, ora o nel prossimo futuro, mentre il secondo concerne l'attuale struttura industriale del nostro paese. Il panorama della chimica industriale e dell'ingegneria chimica è profondamente cambiato rispetto a quello del dopoguerra, poiché da una impostazione sostanzialmente centrata sulla realizzazione di processi di grande scala, tipici della petrolchimica, si è ripiegata su produzioni di minori dimensioni, caratteristiche della cosiddetta chimica fine e secondaria. Esse sono intimamente connesse con le attività sociali e di servizio e soprattutto dedicate alla salute. In questo quadro la tipologia dei prodotti richiesti dal mercato è strettamente connessa con l'uso che se ne deve fare. Ad esempio un polimero deve essere compatibile con i tessuti umani poiché solo a queste condizioni può essere impiegato per la fabbricazione di protesi e organi artificiali. Un adesivo deve essere in grado di offrire prestazioni efficaci pur operando in condizioni severe, mentre i coloranti devono soddisfare le richieste, talora stravaganti, della moda. I materiali per l'edilizia devono essere nel contempo in grado di ottemperare alle prove meccaniche termiche più severe e di soddisfare le più svariate richieste estetiche. In questo scenario, nel quale la chimica resta un punto di forza essenziale, le capacità tecniche devono saper collocare con le esigenze artistiche e nel contempo essere strettamente osservanti dei vincoli che vengono imposti dalla tutela dell'ambiente. La chimica si trova profondamente impegnata nelle ricerche in corso sulla scienza dei materiali, che sta acquistando un nuovo volto poiché costituisce il punto di convergenza con la fisica, l'ingegneria e per certi aspetti la biologia. Oltre alle proprietà strutturali che hanno prevalentemente guidato lo sviluppo delle tecnologie basate soprattutto sulle caratteristiche meccaniche e termiche dei solidi, il

1.
Natta osserva il modello
di una macromolecola (1957)
Natta looks at a model
of a macromolecule (1957)



2.
Natta davanti a schemi di
suoi polimeri (1957)
Natta shows schemes
of his polymers (1957)



limitations imposed by environment protection. Chemistry is deeply committed in research under way on material science, which is taking a new face, since it is the meeting point with physics, engineering and for some aspects biology. Besides structural properties which have mainly led the development of technologies especially based on mechanical and thermal features of solids, the main interest is now for the improvement of those functional properties which are at the base of the preparation of materials which are for example used in electronic, optical electronic and communication industries. The most ambitious objective is the design, and therefore the synthesis, of materials with well defined properties. The most innovative technologies deal with methods for the synthesis of sophisticated materials which range from monocrystalline and nanostructures, sometimes in competition with nature in obtaining unusual species with peculiar properties. This real challenge involves the technologically most advanced countries which want to play a major role in the future global scientific and technological scene. The exploration of innovative roads which imply for example the direct manipulation of atoms or the use of the

principale interesse è ora volto al miglioramento di quelle proprietà funzionali che stanno alla base della preparazione dei materiali impiegati ad esempio nell'industria elettronica, optoelettronica e delle comunicazioni. L'obiettivo più ambizioso è la progettazione, e quindi la sintesi, di materiali dotati di ben definite proprietà. Le tecnologie più innovative riguardano i metodi di sintesi di materiali sofisticati che vanno dai monocristallini alle nanostrutture, in competizione talora con la natura nell'ottenimento di specie insolite con proprietà peculiari. In questa autentica sfida sono coinvolti i paesi tecnologicamente più avanzati che intendono rivestire un ruolo di primo piano nel futuro panorama scientifico e tecnologico mondiale. L'esplorazione di strade innovative che comportano ad esempio la manipolazione diretta degli atomi o l'impiego delle strutture della chimica organica supramolecolare per la fabbricazione dei circuiti logici, potrebbe dare l'avvio ad una nuova rivoluzione scientifica e tecnologica ai limiti della fantascienza. La chimica fisica fondamentale ha ormai raggiunto un soddisfacente livello di maturità nello studio e previsione delle strutture molecolari e del loro

structures of supramolecular organic chemistry for the manufacturing of logic circuits could start a new scientific and technological revolution on the verge of science fiction.

Fundamental physical chemistry has now reached a satisfactory level of maturity in the study and forecast of molecular structures and their dynamic behaviour. These results have significant potential consequences also in various fields of application, which for example deal with chemical synthesis, combustion, atmospheric chemistry, finding new drugs and molecular biology. Molecular engineering is establishing itself right on these premises, capable of giving chemistry new strength which makes it a star in the most advanced scientific and technological processes.

It is obviously really desirable that also our companies take part in this venture, thanks to the contribution of our researchers, whose skills, internationally acknowledged, enjoy the cultural legacy inherited from scientists such as Giulio Natta. This prospect must however be included in the current Italian industrial situation, which has somehow become atypical, because it derives its strength from a texture of small and medium enterprises active in manufacturing industries, and which make large use of products from chemical industry, in particular, fine and secondary chemistry. Since their size is small, they do not have their own research facilities and therefore need external support, which can be valuably provided by universities. Unfortunately, the alarming events that we mentioned previously about the disposals in large-sized enterprises highlight the deep crisis of our technological system, which now seems to be at the margin of those activities which require high skills and brave and clear industrial strategies. However, some of our businessmen do not lack courage, creativity and flexibility to work also within a development model substantially based on small- and medium-sized enterprises, which can compete on global markets. Chemical industry is indirectly present in nearly all the activities where consumer and entertainment goods requested by the market are produced, and still plays a major role in issues concerning food and health. Besides, by virtue of the strict connection between research and production, it is highly sensitive to innovative factors. So much as to definitely be the most appropriate candidate to give new thrust to our industrial economy.

comportamento dinamico. Questi risultati hanno importanti potenziali ricadute anche in diversi settori applicativi, che riguardano ad esempio le sintesi chimiche, la combustione, la chimica atmosferica, l'individuazione di nuovi farmaci e la stessa biologia molecolare. Su questi presupposti si sta affermando una vera e propria ingegneria molecolare, in grado di conferire alla chimica un rinnovato slancio che la rende protagonista dei più avanzati progetti scientifici e tecnologici.

È ovviamente quanto mai auspicabile che a questa avventura partecipino anche le nostre imprese grazie al contributo dei nostri ricercatori, le cui competenze, internazionalmente riconosciute, godono del retaggio culturale ereditato da scienziati come Giulio Natta. Questa prospettiva si deve però inserire nella attuale situazione industriale italiana, che è diventata in un certo senso atipica, poiché trae il suo punto di forza da un tessuto di piccole e medie imprese operanti nei settori manifatturieri, fruendo largamente dei prodotti della industria chimica, in particolare quella fine e secondaria. Essendo di piccole dimensioni non dispongono di strutture di ricerca autonome e necessitano quindi di un supporto esterno che potrà essere validamente fornito dalle università.

Purtroppo i fatti allarmati che abbiamo precedentemente menzionato sulle dismissioni che ha subito la grande industria evidenziano la profonda crisi che sta attraversando il nostro sistema tecnologico, che sembra ormai operare ai margini di quelle attività che richiedono alte competenze e coraggiose e chiare strategie industriali. Tuttavia ad alcuni dei nostri imprenditori non mancano il coraggio, la creatività e la flessibilità per saper operare anche nell'ambito di un modello di sviluppo basato sostanzialmente sulle piccole e medie imprese, che sia in grado di competere sui mercati globali. L'industria chimica è indirettamente presente in quasi tutte le attività in cui si producono i beni di consumo e di intrattenimento richiesti dal mercato, e occupa ancora un ruolo di primo piano nei problemi riguardanti l'alimentazione e la salute. Inoltre, in virtù di una stretta connessione fra ricerca e produzione, risulta molto sensibile ai fattori innovativi. Tanto da costituire sicuramente il più adeguato candidato per conferire nuovamente alla nostra economia industriale una spinta propulsiva.

Giuseppe Allegra
Fabio Ganazzoli
Stefano V. Meille
Guido Raos

La visione molecolare nello sviluppo dei materiali polimerici

The molecular insight in the development of polymeric materials

Few people have the profound molecular-level insight which is necessary for the development of an entirely new class of structural materials, such as stereoregular polymers. Giulio Natta was one of them. With a group of highly gifted collaborators, in 1954 Natta synthesized isotactic polypropylene and, mostly important, *he understood its molecular structure*, namely that *all its repeating units have the same spatial arrangement* [see Figure 1']. Such a result had not been achieved for instance by other scientists working in American industrial laboratories, even though they had obtained "solid" polypropylene (this was their definition) before him. Afterwards, the molecular perspective provided a powerful impetus for the developments of the original discovery, allowing Natta and his School in the following decades to obtain and characterize many new polymers for textiles, plastics, films and rubbers, thus bringing about a revolution in the field of synthetic materials. Borrowing his own words, we may say that Natta managed "to obtain conclusive results about the genesis and structure of new classes of macromolecules" at a time when, after the inevitable initial disbelief, the polymer concept was becoming a central theme in many scientific and technological fields.

Giulio Natta had already provided examples of his "insight". During his apprenticeship at the Politecnico with professor Giuseppe Bruni, he determined the crystal structures of the halogen acids by X-ray diffraction. These studies arose his

Lo sviluppo di una classe interamente nuova di materiali strutturali, come quella dei polimeri stereoregolari, richiede una capacità di visione a livello molecolare che pochi uomini possiedono. Giulio Natta era uno di questi. Coll'aiuto di collaboratori di grande valore, nel 1954 Natta ha sintetizzato il polipropilene isotattico e soprattutto *ne ha capito la struttura molecolare*, consistente nel fatto che *tutte le unità hanno una comune orientazione spaziale* [vedi Figura 1']. Questo non era riuscito ad esempio ad alcuni ricercatori operanti in laboratori industriali americani, che pure avevano ottenuto prima di lui il polipropilene "solido" (così da loro definito). La visione molecolare ha in seguito rappresentato una spinta assai potente per lo sviluppo dell'invenzione originaria, che ha permesso nei decenni successivi a Natta e alla sua Scuola di ottenere e caratterizzare molti nuovi polimeri per filati, plastiche, film, gomme, rivoluzionando il campo dei materiali sintetici. Utilizzando le sue stesse parole, possiamo dire che Natta è riuscito "a ottenere risultati conclusivi relativamente alla genesi e alla struttura di nuove classi di macromolecole", nel momento in cui il concetto di polimero, dopo le inevitabili resistenze iniziali, diventava protagonista in molti ambiti scientifici e tecnologici.

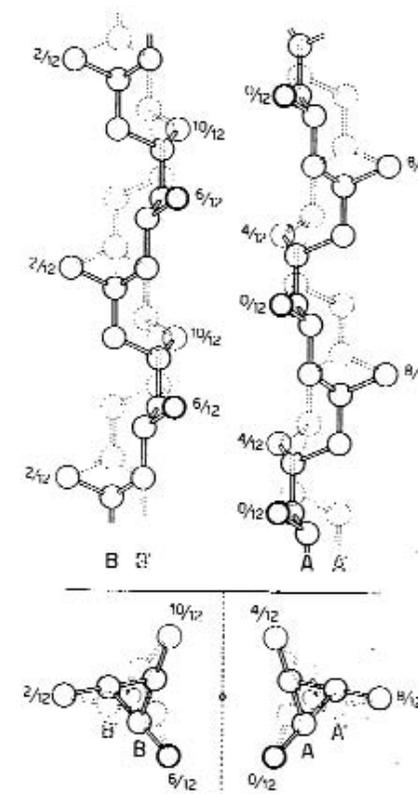
Giulio Natta aveva già dato prova della sua capacità di "visione". Gli studi mediante la diffrazione di raggi X delle strutture cristalline degli acidi alogenidrici, perseguiti durante l'apprendistato al Politecnico con il professor Giuseppe Bruni, avevano stimolato la sua curiosità, convincendolo delle potenzialità del metodo. Di fondamentale importanza è stato poi l'incontro di Natta nel 1932 a Freiburg con Hermann Staudinger, raccontato nella sua Nobel Lecture. Questi ottenne a sua volta il premio Nobel nel 1953, per aver chiarito la nozione di polimero alla comunità scientifica. Natta fu attratto immediatamente dallo studio degli alti polimeri lineari, e subito tentò "di determinarne la struttura del reticolo cristallino". È proprio nell'associazione tra questa coscienza del fondamentale significato della struttura molecolare, la lucida visione della dinamica industriale, e le eccezionali capacità organizzative, che possiamo cogliere il significato più vivo ed attuale dell'avventura di Natta.

Quando al Politecnico di Milano Natta utilizza per differenti monomeri i catalizzatori che Karl Ziegler (premio Nobel con Natta) aveva individuato per polimerizzare l'etilene, non solo è in grado di ottenere nuove macromolecole, ma si mette in condi-

curiosity and convinced him of the potentialities of the method. The encounter with Hermann Staudinger in Freiburg in 1932, which he recalled in his Nobel Lecture, was also very important. Staudinger was to receive the Nobel prize in 1953 for clarifying the polymer notion to the scientific community. Natta was attracted at once by the study of high linear polymers, and soon set out to "establish the structure of their crystal lattice". It is precisely in his blend of awareness of the central importance of molecular structure, his sound view of the industrial applications and his outstanding organisation skills, that we may draw the most lively and modern lesson from Natta's adventure. When, at the Politecnico di Milano, Natta uses for different monomers the same catalysts that Karl Ziegler (later to share with Natta the Nobel prize) had used to polymerize ethylene, not only is he able to obtain new polymers, but he can also understand their structure as well as their potential applications. Using X-ray diffraction, Natta and his co-workers succeed in defining precise three-dimensional models of the molecules they investigate. From this starting point they develop the concept of stereoregularity – i.e., regularity of both atomic enchainment and spatial orientation of the chain atoms – as a basic pre-requisite to obtain crystallinity in synthetic as well as biological polymers. The stereoregular forms of polypropylene and poly- α -olefins may be isotactic or syndiotactic. The conformation, i.e., the shape actually adopted by the macromolecule in the crystal, is the fundamental property resulting from the analysis of the diffraction data; from its knowledge we may derive the polymer stereoregularity. In view of the relatively poor quality of the experimental data available in the case of polymers, the development of simple and effective molecular model-building approaches was decisive for Natta's group. Similar methods of investigation had already been adopted by Linus Pauling in 1950 (Nobel prize in 1954) to determine the α -helix structure as the conformational leitmotiv of proteins, and by Francis Crick and James Watson in 1953 (Nobel prizes in 1962) to unveil the structure of DNA and its implications for the transmission of genetic information. The basic ideas proposed by Natta for synthetic polymers are: 1) the polymer conformation in the crystal is close to that of minimal energy for the isolated molecule, and 2) all the monomer units are geometrically equivalent. Today, we see the natural development

1. Rappresentazione del polipropilene isotattico nella conformazione elicoidale assunta allo stato cristallino, così come descritta originariamente da Natta e Corradini. Sono rappresentate un'elica destrorsa (a sinistra) e un'elica sinistrorsa (a destra), sia di lato che in proiezione assiale. Queste contengono tre monomeri CH₂CHCH₃ per ogni spirale. Sono visualizzate le posizioni dei soli atomi di carbonio, mentre quelle degli idrogeni sono omesse.

Representation of isotactic polypropylene in the helical conformation adopted in the crystalline state, as originally described by Natta and Corradini. A right-handed helix is shown on the left, and a left-handed helix on the right; both the sides and the axial projections are shown. The helices contain three CH₂CHCH₃ monomers per turn. Only the positions of the carbon atoms are shown, while those of the hydrogens have been omitted.



of this approach in the combined use of diffraction and spectroscopic data and of computer modelling techniques to elucidate molecular structures of ever greater complexity. Perhaps the most up-to-date and relevant examples are those of proteins and of nucleic acids, where the construction of accurate three-dimensional models is one of the basic steps to understand their biological activity.

In his investigations Natta goes beyond the structural properties of the single chains, showing a clear interest for their aggregation properties – i.e., what is presently defined as chains' self-organization, especially in crystals – reflecting in turn their intermolecular interactions. Natta already perceives that the properties of materials depend largely on these forces, but it is only in the last few years that the acquired knowledge has given birth to the discipline of molecular and supra-molecular engineering (Nobel prizes to Donald Cram, Jean-Marie Lehn and Charles Pedersen, 1987).

Today the molecular approach adopted by Natta to obtain new crystalline polymers pervades not only chemistry, but material science at large, especially for the most advanced materials. As we shall try to illustrate in the following few pages, we have witnessed a tremendous growth in the ability of synthetic chemists to control molecular architecture at all scales, starting from the monomer unit, through the overall structure of the macromolecule, up to their mutual organization into larger and more complex structures (the “bottom-up” approach to nanomaterials). On the other hand, our physico-chemical knowledge has also expanded, to the point that not only can we understand several aspects of a polymer's behaviour as a function of its structure, but in many cases we can also “design” its architecture as a function to the desired properties.

After the exciting developments in the synthesis of stereoregular polymers in the 50's, due primarily to Natta and his School, the following decades have witnessed substantial progress in the understanding of their physical properties. The concept – due primarily to Pierre-Gilles de Gennes (Nobel prize for Physics in 1991) and the French school – that a long chain behaves similarly at different scales of observation, has been extremely useful to understand the behaviour of high polymers in solution as well as in the liquid or amorphous state. The resulting self-similarity may be regarded as a new aspect of polymers' self-organisation, even though this is

zione di capirne la struttura ed il campo di applicazione potenziale. Con la diffrazione dei raggi X Natta ed i suoi collaboratori riescono a definire precisi modelli tridimensionali delle molecole studiate. A partire da questi è stato sviluppato il concetto di stereoregolarità — regolarità di concatenamento e di orientazione spaziale degli atomi della catena — come prerequisito fondamentale perché si abbia cristallizzazione sia nei polimeri sintetici che biologici. Il polipropilene e le poli- α -olefine stereoregolari possono essere isotattici o sindiotattici. La conformazione, ovvero la forma assunta dalla macromolecola nel cristallo, è la proprietà fondamentale che risulta dall'analisi dei dati di diffrazione; dalla sua conoscenza possiamo risalire alla stereoregolarità del polimero. A causa della limitata qualità dei dati sperimentali disponibili nel caso di polimeri, in queste ricerche per il gruppo di Natta è stato essenziale sviluppare semplici ed efficaci approcci modellistici. Metodi di indagine di questo tipo erano stati già utilizzati da Linus Pauling nel 1950 (premio Nobel nel 1954) quando determinò la struttura ad α -elica come motivo strutturale delle proteine, e da Francis Crick e James Watson nel 1953 (premi Nobel nel 1962) nella scoperta della struttura del DNA e delle sue implicazioni per la trasmissione dell'informazione genetica. Le idee centrali proposte da Natta per i polimeri sintetici sono:

- 1) la conformazione del polimero nel cristallo corrisponde (all'incirca) a quella di minima energia per la molecola isolata;
- 2) tutte le unità monomeriche sono equivalenti dal punto di vista geometrico.

Possiamo vedere lo sviluppo logico di questo approccio nell'uso combinato di dati di diffrazione e spettroscopici e della modellistica al calcolatore, per costruire modelli molecolari di sistemi sempre più complessi. Gli esempi più attuali e rilevanti sono forse quelli delle proteine e degli acidi nucleici, per i quali l'ottenimento di strutture tridimensionali accurate è un passo indispensabile per comprenderne l'attività biologica.

Natta nei suoi lavori va anche al di là delle proprietà strutturali della catena singola, mostrando un chiaro interesse per le proprietà di aggregazione — cioè per quella che ora definiamo la capacità di auto-organizzazione vicendevole delle catene, in particolare nei cristalli — in funzione delle forze intermolecolari. Già in Natta c'è la percezione che le proprietà dei materiali dipendono in larga parte

based on statistical properties, instead of the geometrical order of crystals. We may also say that the macromolecule behaves as a “fractal” object. As an example we have a scaling relationship (or power law) between the average dimension R of a single macromolecule and its molecular mass M , of the type $R = \text{const} \cdot M^{\nu}$. Usually we have $\nu = 0.5$ in the melt or in the glassy state and $\nu = 0.6$ in dilute solution, independent of the precise chemical nature of the monomer units (see also the preceding contributions of Paul J. Flory, Nobel prize 1974). An analogous relationship holds for the mass viscosity η (or for the polymer's contribution to the viscosity in solution): $\eta = \text{const} \cdot M^a$, where $a = 3.4$ in a large-molecular-mass melt and 0.75-0.80 in dilute solution. These laws are very important for the practical characterization of polymer materials and may be explained by the joint usage of statistical-mechanical arguments and dimensional analysis, taking into account the molecular features of the polymer. In particular, the equation $\eta = \text{const} \cdot M^a$ for the viscosity of polymer melts has been justified using the assumption that, because of the transverse obstacles represented by the surrounding chains, each macromolecule moves as a reptile (hence the name “reptation theory”), by sliding along the line that represents its conformation at any given instant [see Figure 2']. The theoretical value of the exponent, $a = 3$, is in substantial agreement with the experimental data. It is also important to point out that even in the liquid state the macromolecules' instantaneous structure generally consists of a sequential arrangement of ordered strands, as they exist in the crystalline state.

Continuing with the “molecular insights” into the behavior of polymeric materials, computer simulations are now playing an important role as a support and complement to both experimentation and theory. The main static and dynamic properties of macromolecules can be predicted, starting from the knowledge of the chemical composition and a few general principles. It is interesting to observe that computer simulations represent the mathematical equivalent of the empirical modelling approaches based upon experience and chemical intuition, which were mentioned above. Monte Carlo and Molecular Dynamics techniques have been widely used to investigate macromolecular conformations in solution and in the melt, thus permitting for instance an in-depth check of the quoted relationship between molecular mass and size. In addition,

da queste forze, ma è solo oggi che le conoscenze acquisite hanno consentito la nascita di una disciplina che prende il nome di ingegneria molecolare e supramolecolare (premi Nobel a Donald Cram, Jean-Marie Lehn e Charles Pedersen, 1987).

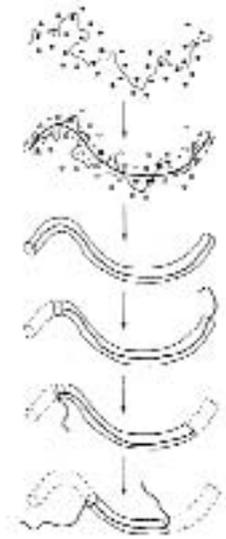
L'approccio fondato sulla visione molecolare, utilizzato da Natta per l'ottenimento di nuovi polimeri cristallini, pervade ora non solo la chimica ma tutta la scienza dei materiali, specialmente quelli più avanzati. Come cercheremo di esemplificare nel breve spazio a disposizione, è cresciuta enormemente la capacità del chimico sintetico di controllare l'architettura molecolare su tutte le scale, a partire da quella dell'unità monometrica, passando per la struttura globale delle macromolecole, per arrivare alla loro reciproca organizzazione in strutture via via più complesse (l'approccio “bottom-up” alla costruzione di nanomateriali). D'altro canto, sono aumentate di pari passo le nostre conoscenze chimico-fisiche, al punto che non solo è possibile comprendere diversi aspetti del comportamento di un determinato polimero in relazione alla sua struttura, ma in molti casi consentono di progettare “a tavolino” l'architettura in funzione delle proprietà desiderate.

Dopo che, per merito principale di Natta e della sua Scuola, negli anni '50 si è avuta l'esplosione della sintesi chimica dei polimeri stereoregolari, i decenni successivi hanno visto un grande sviluppo dello studio delle proprietà fisiche. Il concetto – dovuto principalmente a Pierre-Gilles de Gennes (premio Nobel per la Fisica nel 1991) e alla Scuola Francese – che una lunga catena si comporta in modo simile a diverse scale di osservazione, è stato fondamentale per la comprensione del comportamento in soluzione e allo stato liquido o amorfo degli alti polimeri. L'auto-similarità che ne risulta può essere considerata come un nuovo aspetto della organizzazione strutturale dei polimeri, anche se questa si fonda ora su proprietà statistiche, e non geometricamente determinate come nel caso dei loro cristalli. Si usa anche affermare che la macromolecola si comporta come un oggetto “frattale”. Nasce ad esempio una relazione di scala (o legge di potenza) tra la dimensione media R della singola macromolecola e la sua massa molecolare M , del tipo $R = \text{const} \cdot M^{\nu}$; normalmente $\nu = 0.5$ nello stato fuso o vetroso e $\nu = 0.6$ in soluzione diluita, indipendentemente dalla precisa natura chimica delle unità monomeriche (vedi anche i contributi precedenti di Paul Flory, premio Nobel 1974). Una relazione

2.

Il modello della "reptation": il moto Browniano di una lunga catena nel polimero fuso è simile a quello di un rettile. Sono così rispettati gli ostacoli, rappresentati dalle altre catene, al movimento trasversale della catena di riferimento.

[Figura tratta da: M. Doi and S. F. Edwards, "The Theory of Polymer Dynamics", Oxford University Press, 1988].



molecular simulations enable us to obtain information on properties that are not directly measurable or easily accessible. We quote for example the local rigidity of polymer chains, which affects their packing in condensed phases, or the behaviour of macromolecules close to a surface, or more generally at the interface with other materials. In all these cases, computer simulations allow us to focus the attention on the area of interest, with a degree of detail which is limited only by the accuracy of the model adopted to represent the atomic interactions. Also as a consequence of the fast develop-

The "reptation" model: the Brownian motion of a long chain in a molten polymer resembles that of a reptile.

The lateral motion of a given reference chain is suppressed by the constraints produced by the other chains.

[Picture taken from: M. Doi and S. F. Edwards, "The Theory of Polymer Dynamics", Oxford University Press, 1988].

analoga vale per la viscosità in massa η (o il contributo alla viscosità in soluzione diluita): $\eta = \text{cost} \cdot M^a$, dove $a=3.4$ nel fuso ad alta massa molecolare e 0.75-0.80 in soluzione diluita. Queste relazioni sono di grande importanza nella caratterizzazione pratica dei materiali polimerici, e possono essere spiegate con criteri di meccanica statistica associati a considerazioni di analisi dimensionale, mettendo in conto gli aspetti molecolari del polimero. In particolare, l'equazione $\eta = \text{cost} \cdot M^a$ per la viscosità dei polimeri fusi ha potuto essere dimostrata assumendo che, a causa degli ostacoli trasversali rappresentati dalle altre catene, ogni macromolecola si muova come un rettile (da cui il nome di "teoria della reptation") scivolando lungo la linea curva che ne rappresenta la conformazione in ogni dato istante [vedi Figura 2']. Si è così ottenuto il valore $a=3$, in sostanziale accordo coi dati sperimentali. È anche importante notare che l'analisi statistica dimostra che anche allo stato liquido la struttura istantanea delle macromolecole consiste generalmente nella successione di porzioni ordinate, simili a quelle che si hanno allo stato cristallino.

Nell'ambito della "visione molecolare" dei materiali polimerici, le simulazioni al computer hanno oggi un ruolo importante di supporto e complemento alla sperimentazione ed alla teoria. Partendo da pochi principi generali e dalla composizione chimica, si possono prevedere le principali proprietà delle macromolecole, sia statiche che dinamiche. È interessante notare che, in sostanza, le simulazioni rappresentano la traduzione matematica degli approcci modellistici basati sull'esperienza e l'"intuito" chimico a cui si accennava precedentemente. Tecniche Monte Carlo e di Dinamica Molecolare sono state ampiamente utilizzate per lo studio conformazionale di macromolecole in soluzione o nel fuso, permettendo per esempio di determinare con grande accuratezza la relazione appena citata fra le dimensioni e la massa molecolare. In aggiunta, le simulazioni molecolari permettono di ottenere informazioni su proprietà non facilmente accessibili o direttamente misurabili. Citiamo ad esempio la rigidità locale delle catene, da cui può dipendere il loro impaccamento in fase condensata, o il comportamento di macromolecole in prossimità di una superficie o più in generale all'interfaccia con altri materiali, polimerici e non. In tutti questi casi, le simulazioni permettono di focalizzare l'attenzione sulla zona di interesse, con un livello di dettaglio limitato soltanto dall'accu-

3.

Rappresentazione schematica di un copolimero lineare a due blocchi (in alto) e di polimeri ramificati a stella, a pettine e dendrimeri (in mezzo). Il controllo sulla natura chimica delle unità monomeriche e sulla loro connessione possono essere combinati, per ottenere ad esempio copolimeri ramificati a blocchi (in basso).

Scheme of a diblock copolymer (above) and of branched star, comb and dendrimer polymers (in the middle). Control over the chemical nature of the monomers and over their connectivity can be combined, to produce for example branched block copolymers (below).



ments in computing technology, the area of polymer simulation is progressing to the point that we may predict the mechanical properties (Young modulus, Poisson ratio, etc.), the glass transition temperature or the structural/morphological properties on mesoscopic scales - i.e., intermediate between the molecular ($<10^{-9}$ m) and the macroscopic scales ($>10^{-6}$ m) - that characterise nanomaterials and nanotechnologies.

The connectivity of the monomer units produces cooperative phenomena that are virtually unknown in the field of low-molecular-mass compounds. Even very slight differences in the structure and the interactions between different monomers may be amplified, to the point for example that molten polyethylene and polypropylene are mutually immiscible (unlike the respective monomers, before polymerization). This is sometimes considered a drawback, for it makes plastics recycling difficult. On the other hand, it may also be exploited to create new materials, provided one is able to precisely control the structure of the polymer chains. The developments in "living polymerisation" techniques (i.e., where chain termination reactions are suppressed) have permitted for example the synthesis

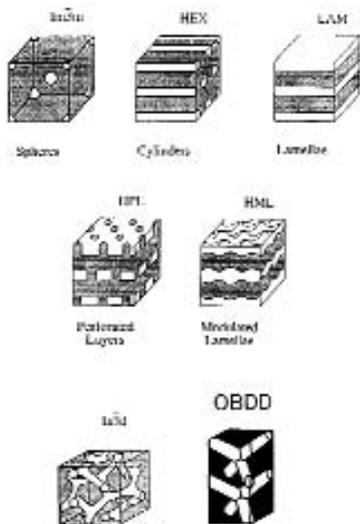
tezza del modello impiegato per rappresentare le interazioni tra gli atomi. Grazie anche agli sviluppi nella tecnologia dei calcolatori, il settore delle simulazioni di polimeri in massa sta progredendo fino al punto di poter prevedere le proprietà meccaniche (modulo di Young, rapporto di Poisson, ecc.), la temperatura di transizione vetrosa o le caratteristiche strutturali/morfologiche sulle scale mesoscopiche — intermedie tra quella molecolare ($<10^{-9}$ m) e quella macroscopica ($>10^{-6}$ m) — che caratterizzano i nanomateriali e le nanotecnologie. La connessione delle unità monomeriche fa nascere degli effetti cooperativi che sono praticamente sconosciuti nel campo dei composti a basso peso molecolare. Anche minime differenze nella struttura e nelle interazioni intermolecolari tra i monomeri possono essere amplificate, al punto ad esempio che il polietilene e il polipropilene fusi risultano immiscibili l'uno con l'altro (a differenza dei rispettivi monomeri, prima della polimerizzazione). Questo fatto viene talvolta considerato svantaggioso, dal momento che rende difficoltoso il riciclo delle materie plastiche. Tuttavia, esso può anche essere sfruttato per creare nuovi materiali, qualora questo si accompagni alla capacità di controllare in

Possibili modi di auto-organizzazione di copolimeri a due blocchi (AA...AABB...BB). L'adozione di una particolare morfologia dipende principalmente dalla lunghezza relativa dei blocchi A e B, e dal prodotto tra la lunghezza complessiva delle catene e la disparità nell'energia di interazione tra le unità monomeriche.

[Figura tratta da: F.S. Bates et al., J. Chem. Soc., Faraday Discuss. 98, 7 (1994)].

Possible modes of self-organization of diblock copolymers (AA...AABB...BB). The adoption of a specific morphology depends mainly on the relative lengths of the A and B blocks, and on the product of the overall chain length times the disparity in interaction energy among the monomer units.

[Picture taken from: F.S. Bates et al., J. Chem. Soc., Faraday Discuss. 98, 7 (1994)].



of block copolymers, wherein long chains of a given type ("AA...A") are chemically welded to another type ("BB...B") to yield the system AA...AABB...BB [see Figure 3', above]. The conflict produced by the tendency to phase separation and the monomers' connectivity produces the self-organization of these polymers into nanometric domains with precisely-controlled shape (spherical, cylindrical, lamellar, or other), size and periodicity [see Figure 4']. These materials may be used as such, in special applications such as thermoplastic rubbers, or they may also be exploited as "templa-

modo preciso la struttura delle catene polimeriche. Gli sviluppi della polimerizzazione "vivente" (nella quale cioè viene soppressa la reazione di terminazione delle catene che polimerizzano) hanno permesso ad esempio la sintesi di copolimeri a blocchi, in cui lunghe catene di un determinato tipo ("AA...A") sono saldate chimicamente a catene di un altro tipo ("BB...B"), a dare il sistema AA...AABB...BB [Figura 3', in alto]. Il conflitto fra la tendenza alla separazione di fase e i vincoli imposti dalla connessione dei blocchi produce la auto-organizzazione di questi materiali in domini nanometrici di forma (sferica, cilindrica, lamellare, o altro), dimensioni e periodicità ben controllate [vedi Figura 4']. Questi materiali possono essere utilizzati tal quali, ad esempio come gomme termoplastiche per applicazioni speciali, ma offrono anche la possibilità di agire da "templato" per la sintesi di altri materiali. Come una specie di "pantografo chimico", la loro struttura può essere trascritta in particelle magnetiche o metalliche con dimensioni e organizzazione tridimensionale ben definite. Anche in questo campo le simulazioni molecolari hanno fornito un prezioso contributo, permettendo di razionalizzare la morfologia dei domini nanometrici dei copolimeri a blocchi tramite "esperimenti" al computer su modelli relativamente semplici.

I medesimi progressi nella sintesi dei polimeri hanno anche permesso di ottenere macromolecole a struttura altamente controllata, anche in direzioni diverse da quelle più tradizionali dei polimeri lineari. Ci riferiamo a polimeri a stella, a pettine e più recentemente a dendrimeri [vedi Figura 3']. In questi sistemi le unità ripetitive e la densità di ramificazione possono essere agevolmente controllate così da fornire composti estremamente versatili. Dopo un iniziale interesse come materiali strutturali dotati di peculiari proprietà reologiche o viscoelastiche, l'interesse si è ora spostato sull'aspetto funzionale di queste molecole. Così, le cavità presenti all'interno di una molecola di dendrimero possono essere utilizzate come trasportatori ("carriers") di molecole piccole o per il rilascio controllato di farmaci. La funzionalizzazione degli estremi liberi aggiunge un ulteriore grado di libertà che aumenta ancora la flessibilità di queste molecole. Ad esempio, l'aggiunta di cromofori terminali a dendrimeri costituiti da sistemi coniugati permette la preparazione di sistemi "light-harvesting" estremamente efficienti, capaci di raccogliere un nume-

tes" for the synthesis of other materials. Much as a "chemical pantograph", their structure can be transcribed onto magnetic or metallic nanoparticles with well-defined size and spatial organization. Molecular simulations have made important contributions also in this specific field, helping the rationalization of the observed morphologies of block copolymers by computer "experiments" on relatively simple models.

The same advances in polymer synthesis have also allowed the production of macromolecules with highly controlled branched architectures. Star and comb polymers and dendrimers have expanded the domain of macromolecules beyond the traditional one of linear structures [see again Figure 3']. The repeating units and degree of branching may be controlled relatively easily, making them very versatile. After an initial interest in these systems as structural materials with unusual rheological and viscoelastic properties, interest has now shifted towards their usage as functional elements. Thus, the cavities within a dendrimer may be used as "carriers" of small molecules or for controlled drug release. The additional degrees of freedom associated with the possibility to functionalize their free ends increases their flexibility of use. For example, appropriate chromophores on the free ends and within the core of conjugated dendrimers allow them to operate as extremely efficient "light-harvesting" systems, which capture a high number of photons at the periphery and transmit their energy to the centre. In highly branched comb polymers, the main chain has an unusually high stiffness, since it tends to preserve its initial direction because of the interactions among the lateral branches. This explains the tendency of these molecules to organize in liquid-crystalline domains. Highly branched comb polymers have also been used as templates in the production of μm -long conducting nanowires.

To sum up, the original insights and discoveries of Natta have opened the way to an extremely fertile research field, where the synthetic control over the molecular structure of polymers and the physico-chemical understanding of their properties are exploited synergistically in the rational development of new advanced materials.

ro elevato di fotoni grazie all'alto numero dei cromofori terminali e di concentrarne l'energia nel centro, dove si ha un altro appropriato cromoforo. Nei polimeri a pettine ad elevata densità di ramificazione, la catena principale mostra una rigidità insolitamente alta, perché tende a mantenere la direzione iniziale per effetto dell'interazione fra le braccia laterali. Queste proprietà spiegano la tendenza di queste molecole a dar luogo a domini con ordine liquido-cristallino. Macromolecole a pettine con alta densità di ramificazione e aventi opportuni copolimeri a blocchi sulle braccia laterali sono anche usati come templati per la produzione di nano-fili conduttori lunghi anche diversi μm . In conclusione, le scoperte e le intuizioni originali di Natta hanno aperto la strada ad un campo di ricerca estremamente fecondo, in cui il controllo sulla struttura molecolare dei polimeri e la comprensione delle loro proprietà chimico-fisiche vengono sfruttati in modo sinergico per lo sviluppo razionale di nuovi materiali avanzati.

The Nobel Lectures di Giulio Natta e di tutti gli altri laureati sono disponibili sul sito web della Nobel Foundation (<http://www.nobel.se>).

Per una discussione più dettagliata del contributo di Natta alla struttura dei polimeri cristallini:

G. Natta, P. Corradini et al., Nuovo Cimento, supplemento al vol. XV, serie X (1960).

Per la struttura frattale e le leggi di scala nei polimeri:

T. A. Witten, "Polymer Solutions: a Geometric Introduction", Rev. Mod Phys. 70, 1531 (1998).

Per i copolimeri a blocchi e l'auto-organizzazione dei materiali polimerici: M. Muthukumar, C. K. Ober and E. L. Thomas, "Competing Interactions and Levels of Ordering in Self-Organizing Polymeric Materials", Science 277, 1225 (1997).

F. S. Bates and G. H. Fredrickson, "Block Copolymers — Designer Soft Materials", Physics Today, p. 32 (February 1999).

The Nobel Lectures by Giulio Natta and all the other laureates are available on the web site of the Nobel Foundation (<http://www.nobel.se>).

For Natta's in-depth original discussion of the structure of crystalline polymers:

G. Natta, P. Corradini et al., Nuovo Cimento, supplemento al vol. XV, serie X (1960).

For the fractal structure and scaling laws in polymers:

T. A. Witten, "Polymer Solutions: a Geometric Introduction", Rev. Mod Phys. 70, 1531 (1998).

For block copolymers and self-organization in polymer materials: M. Muthukumar, C. K. Ober and E. L. Thomas, "Competing Interactions and Levels of Ordering in Self-Organizing Polymeric Materials", Science 277, 1225 (1997).

F. S. Bates and G. H. Fredrickson, "Block Copolymers — Designer Soft Materials", Physics Today, p. 32 (February 1999).

Giuseppe Zerbi

Recenti sviluppi nella scienza dei materiali organici nanostrutturati: l'intuizione interdisciplinare di Giulio Natta

Recent development of the science of nanostructured organic materials: the intuition by Giulio Natta of the need of an interdisciplinary culture

In the sixth framework program recently launched by the European Union great emphasis and large financial support have been devoted for the development of programs of interdisciplinary education between the various sections of basic and applied sciences. For a constructive advancement of our Society knowledge of chemistry, physics, mathematics and biology must lie as foundations of the culture of all those who deal with technology, applied sciences and material science and vice-versa. Unfortunately until today our universities have developed and rigorously defended many sectorial aspects building cultural and “parochial barriers” to the mutual inter-diffusion of competences. Such mutual interdisciplinary collaboration may seed new discoveries and new devices which any physicist, chemist or engineer, if acting alone, would have never been able even to think of their existence. I'd like simply to refer to a case which I witnessed and lived personally in our Politecnico, in my Department, during the exciting time with Nobel Prize Giulio Natta, just at the beginning of my life as researcher. As shown by the documents carefully and diligently collected by Professor Lido Porri and published in a book dedicated to the Nobel Prize Giulio Natta, in the notebook of Natta on date march 11, 1954 one

Nel sesto programma quadro di recente lanciato dalla Unione Europea grande enfasi e ingenti risorse sono state riservate per lo sviluppo di programmi di istruzione interdisciplinare tra diversi settori delle scienze di base ed applicate. Per un positivo progresso della nostra società le conoscenze di chimica, fisica, biologia devono essere alla base di chi si occupa di tecnologia, di scienze applicate e di materiali e viceversa. Purtroppo, fino ad oggi le nostre università hanno curato e rigorosamente difeso aspetti settoriali erigendo barriere culturali e “parrocchiali” alla interdizione di competenze che potrebbero, con una collaborazione interdisciplinare, portare a nuove scoperte e nuovi dispositivi di cui, se isolati, il fisico o chimico o ingegnere non ne potrebbero neppure concepire la possibile esistenza.

Vorrei con semplicità riferirmi ad un caso vissuto di persona proprio nel nostro Politecnico, presso il mio Dipartimento durante l'intenso ed entusiasmante periodo di ricerca vissuto con il Premio Nobel Giulio Natta proprio agli inizi della mia vita come ricercatore.

Come risulta dai documenti diligentemente raccolti dal Professor Lido Porri e pubblicati in un volume dedicato al Nobel Natta, nella agenda di Natta in data 11 marzo 1954 compare l'annotazione “fatto il Polipropilene”. La strada al trionfale sviluppo della Scienza, Tecnologia e produzione industriale delle materie plastiche era aperta e si avviava ad uno sviluppo quasi esplosivo per gli anni successivi. Io cominciai a fare il ricercatore presso il Dipartimento diretto da Natta solo dall'ottobre del 1956 e subito fui trascinato dall'entusiasmo e dalla tensione intellettuale ed umana mirata alla scoperta di nuovi materiali, nuove proprietà e nuovi fenomeni chimici.

Fra i tanti nuovi polimeri che venivano sintetizzati in Dipartimento Natta intuì che si doveva polimerizzare anche l'acetilene; il poliacetilene ottenuto usando i suoi catalizzatori avrebbe dovuto costituire il primo polimero policoniugato a struttura perfetta. Se questo fosse avvenuto il poliacetilene (che, per brevità, indicheremo in questo articolo come “pristino”), secondo quanto si pensava allora, avrebbe dovuto condurre corrente e sarebbe diventato il primo polimero organico conduttore come un metallo. Ovviamente l'interesse era notevole ed i collaboratori di Natta in breve sintetizzarono il materiale (una polvere nera dall'aspetto carbonioso). Le misure di conducibilità elettrica fallirono

can read “fatto il polipropilene” (“we have obtained polypropylene”). A new road was opened to an exciting development of Science, Technology and industrial production of polymeric materials towards an almost explosive development in the next few years.

Only starting from October 1956 I began my work as researcher at the Department of Prof. Natta and I was immediately driven by the enthusiasm and by the intellectual and human tension aimed at the discovery of new materials, new properties and new chemical phenomena.

Among the many polymers which were newly synthesized in the Department, G. Natta had the original idea that also acetylene could be polymerized to polyacetylene; using his catalyst the obtained polyacetylene would have been the first polyconjugated polymer with perfect structure. Natta and coworkers thought that if this had become a reality polyacetylene (which for brevity we'll label as pristine) had to be able to conduct electrical current and should have become the first organic conducting polymer. Obviously the idea was fascinating and the interest was great; Natta's collaborators quickly made the material (a black coal like powder). The conductivity measurements carried out on many samples in various conditions always failed even after so many attempts of purification. Two years later any further attempt was abandoned, the synthesis was published and the whole project evaporated.

In 1975 in Japan, in the laboratory led by professor Shirakawa (today Nobel Prize 2000) polyacetylene was re-synthesized using Natta's method and Natta's Catalyst. We are said that for pure serendipity the pristine materials was exposed to iodine vapors. Since the iodine molecule is capable to withdraw electrons from the molecule of polyacetylene (because of its low ionization potential) the lack of electron within the chain generates an electronic and structural defect positively charged. Conductivity measurements immediately showed that the material was highly conducting and in a relatively short time its conductivity reached that of metallic Copper. With the knowledge of elementary physics we presently handle one can say that iodine had doped polyacetylene, thus generating “charge carriers” which sustain electrical conductivity. The discovery by the Japanese group focussed immediately the interest of chemists because new fields of exciting new chemistry were opened;

anche dopo numerosissimi tentativi di purificazione del materiale. Dopo due anni di lavoro ogni ulteriore tentativo fu abbandonato, venne pubblicata la sintesi ed il tutto passò nel dimenticatoio.

Nel 1975 nel laboratorio giapponese del Professor Shirakawa (oggi premio Nobel 2000) venne rifatta la sintesi del poliacetilene ancora col catalizzatore Ziegler-Natta; si dice per “serendipity” (scoperta che avviene quasi per caso) il materiale “pristino” ottenuto venne esposto a vapori di iodio. Poiché la molecola di iodio è capace di strappare elettroni dalla molecola di poliacetilene (a causa del suo basso potenziale di ionizzazione) viene a crearsi nella catena polimerica un difetto elettronico e strutturale con carica positiva. Misure di conducibilità immediatamente indicarono una elevata conducibilità elettrica che, nel giro di pochi anni, raggiunse quella del Rame metallico. Con le conoscenze della fisica che oggi sono elementari si direbbe che lo iodio aveva “drogato” il poliacetilene creando i “portatori di carica” che generano conducibilità elettrica.

La scoperta dei giapponesi fece scalpore negli ambienti dei chimici perché apriva vastissimi nuovi orizzonti alla chimica, dei fisici perché presentava nuovi fenomeni da capire, dei tecnologi ed industriali che immediatamente sognarono lo sviluppo di dispositivi innovativi. Ho vissuto, personalmente coinvolto, questi anni di intense ricerche che hanno portato al premio Nobel dell'anno 2000 a Shirakawa, McDiarmid e Heeger.

In uno dei primi affollati congressi internazionali su questi specifici argomenti divenne chiaro a tutti che era in atto nel mondo una accanita “chasse aux solitons”. I fisici teorici avevano proposto, su base teorica, che il drogaggio del poliacetilene con atomi o molecole capaci di iniettare o togliere elettroni dalla catena di poliacetilene generasse una eccitazione elettronica chiamata “solitone” che era all'origine della conducibilità elettrica. Bisognava trovare evidenze fisiche sulla esistenza di tali eccitazioni; si sussurrava o si conclamava che la “firma” del solitone fosse inequivocabilmente osservata nello spettro vibrazionale infrarosso. Per il sottoscritto che, cresciuto alla scuola di Natta, lavorava da anni nel settore della spettroscopia infrarossa di polimeri organici “la caccia al solitone” divenne una sfida scientifica, culturale e tecnica. Dimostrammo che i segnali osservati in assorbimento nell'infrarosso non erano specifici del solitone ma originavano da una più generale perturbazione indotta dal drogante sulla

physicists had to face the understanding of an unusual phenomenon of conductivity in a kind of soft-matter they were not familiar with; technologists and industry immediately planned the development of innovative devices.

I was personally strongly involved in these kinds of research which also enjoyed the awarding of the Nobel Prize in 2000 to Shirakawa, McDiarmid and Heeger.

In one of the first very crowded meetings on conducting polymers everybody perceived that in the whole world a "chasse au solitons" was strongly going on. Theoretical Physics had proposed, on a purely theoretical basis, that the doping of polyacetylene with atoms or molecules capable of injecting or withdrawing electrons could produce an electronic excitation called "soliton" which was the origin of electrical conductivity. La "chasse au solitons" consisted in finding any kind of experimental physical evidence on the existence of such excitations; it was generally whispered or shouted that the "signature" of solitons could unquestionably be found in the vibrational infrared spectrum.

I was personally tickled by this thought since, being one of the vibrational spectroscopists of organic polymers in Natta's group, such a "chasse" became a scientific cultural, and technical challenge. We have later proved that the signals observed in the infrared absorption spectrum were not specific of the solitons, but originated from a more general structural perturbation induced by the dopant in the molecule of polyacetylene. A whole family of excitations familiar to the world of physics was born; the hunting was extended to locate solitons, polarons, bipolarons, excitons etc. All these excitations justified the observed electrical conductivity as first discovered by Shirakawa and also many additional properties which were discovered later where the interplay between electrons and photons became the dominant factor and made the whole issue so interesting.

As usually in the science of new things, for 5-8 years we learned new chemistry and new physics from polyacetylene spending money and time on a purely basic science since polyacetylene is a material which decays in ten minutes, if left in air, and does not show any possible technological application.

A new interesting world was opened for Materials Science when the communities of physicists and chemists began to talk to each other. The doping

molecola del poliacetilene. Nacque tutta una famiglia di eccitazioni care alla cultura del fisico: si cercarono solitoni, polaroni, bipolaroni, eccitoni ecc. che giustificavano la conducibilità elettrica inizialmente scoperta ed una varietà di proprietà aggiuntive dove il gioco tra elettroni e fotoni divenne determinante e scientificamente entusiasmante. Come sempre nella scienza delle cose nuove per 5-8 anni imparammo la chimica e la fisica sul poliacetilene facendo della ricerca assolutamente di base perché il poliacetilene è un materiale che, in aria, si decompone dopo dieci minuti e non presenta alcuna possibilità di sviluppo per applicazioni tecnologiche. Si è però aperto un nuovo vasto mondo interessante nella scienza dei materiali quando chimici e fisici cominciarono a parlarsi. Il drogaggio del fisico divenne un fenomeno di ossido riduzione per il chimico, solitoni, polaroni e bipolaroni divennero per il chimico rispettivamente radicali liberi, radical/cationi (o radical/anioni), dicationi o di anioni. Superate le barriere di linguaggio e di mentalità il connubio interdisciplinare fra fisici, chimici teorici e chimici di sintesi portò alla creazione di una grande varietà di nuovi materiali stabili e lavorabili con proprietà mirate elettriche, ottiche ed ottiche non lineari (citiamo ad esempio polipirrol, politiofene, la classe dei poli-para-fenilene vinilene ed alcossiderivati, la classe dei polialchiltofieni o dei polialcossitofieni, ecc.).

Il successivo passo è stato quello di coinvolgere i tecnologi e gli ingegneri nei diversi settori di competenza. In questo modo per le comunità di scienziati che hanno voluto accogliere questi nuovi materiali si è creato un nuovo filone culturale tipico di "Scienza e Ingegneria dei materiali policoniugati". Le industrie sono rimaste inizialmente attente osservatrici dell'evoluzione di queste ricerche e poi hanno deciso di entrare e di procedere nella produzione, oggi in costante sviluppo, di dispositivi innovativi in diversi settori.

Il fatto che questi polimeri (opportunitamente drogati, chimicamente stabili e lavorabili con tecnologie a basso costo) conducano elettricità ha permesso di produrre e di commercializzare "nasi artificiali" altamente selettivi, sensori per applicazioni industriali e biomediche; sono oggi in produzione transistor completamente fatti di plastica prodotti in grandissima scala ed a bassi costi perfino per dispositivi usa-e-getta. Non si tratta di fare concorrenza al mondo della elettronica dominata ovviamente dal silicio, ma si tratta di produrre dispositi-

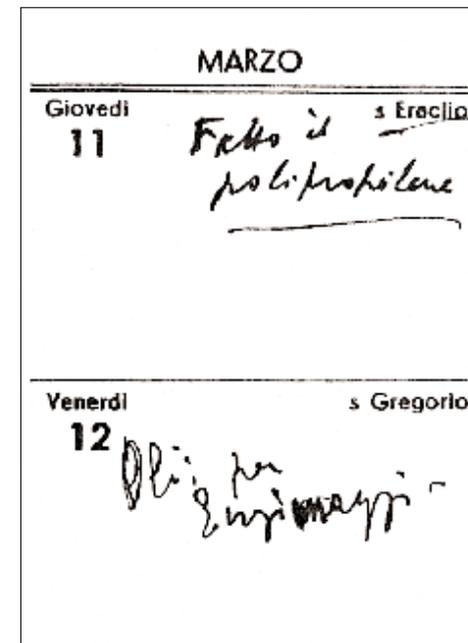
(for the physicists) became a redox reaction for chemists; solitons, polarons and bipolarons became for the chemist free radicals, radical-cation (radical-anion), dications or dianions respectively. Once the potential barrier due only to differences of language and jargon were overcome by physicist, theoretical chemists and synthetic chemists a new age of research started with the production of a large variety of new materials stable and workable with aimed properties in the field of electrical conductivity, linear and non linear optical properties.

Among the materials we quote the most common ones such as polypyrrole, polythiophene, the class of polyalkylthiophenes or polyalkoxythiophenes, polyparaphenylene and its alkoxyderivatives, etc). Next step consisted in driving in such a game the competence of technologists and of various kinds of engineers. In this way for the communities of scientists which had perceived and appreciated the importance of such new materials a new line of thought and of research were generated in the field of Materials Science and Engineering. Industrial companies first watched what was happening and how the research was developing; then they decided to jump into the field and today the production of new polyconjugated materials and of innovative devices is flourishing for various technological applications.

The fact that these polyconjugated materials (suitably doped, chemically stable and workable with cheap technologies) are good electrical conductors has allowed the commercialization of highly selective "artificial noses". Today sensors for industrial or biomedical applications are produced as well as all-plastic transistors are being produced at low cost and on large scale. Nobody wants to fight the use of silicon, but the relevant fact is that it becomes possible to manufacture new and cheap devices which cannot be obtained with silicon.

The interaction of the electromagnetic field with these materials induces electronic transitions complementary or additional to those generated by chemical or electrochemical doping. It then becomes possible to tailor the linear optical properties of these materials (transparency, emissivity, reflectivity, color etc and induce electrical properties: photoconductivity, photovoltaic effects, electroinduced light emission (OLED, Organic Light Emitting Diodes), photochromism etc. All these phenomena occur at very short times of the order of a few femtoseconds. It has been discovered that the same

1. Pagina dell'agenda del Professor Natta, anno 1954
Page of Professor Natta's notebook: 11th March, 1954:
"polypropylene made"



vi complementari che non possono essere ottenuti col silicio.

L'interazione del campo elettromagnetico con questi materiali produce transizioni elettroniche complementari o aggiuntive a quelle indotte nei materiali per drogaggio chimico o elettrochimico. Si possono quindi modulare le proprietà ottiche lineari di questi materiali (trasparenza, emissività, riflettività, colore, ecc.) ed indurre proprietà elettriche: fotoconducibilità, effetti fotovoltaici, emissione di luce elettroindotta (OLED, Organic Light Emitting Diodes), fotocromismo; tutti questi fenomeni

materials show non linear optical properties (non linear variation of the refractive index with the intensity of the incoming electromagnetic field) thus opening the world of photonics (control of light by light) of information technology, image treatment.

The discovery and production of new organic photochromic polyconjugated materials has allowed the researchers of our group at the Politecnico to pave the way to the production of “optical switches”, for the development of holographic imaging up to applications in astronomy.

Today Philips produces OLED, Siemens produces “organic chips” consisting of many transistors made with doped polyalkylthiophenes thus opening new fields of applications: large companies such as ST or Pirelli are strongly engaged in the research in this field.

We need to remind that these organic polyconjugated materials have been the precursors and prototypes of “nanostructured materials” at present considered of great relevance in the whole world of Science and Technology. Indeed their properties derive from the confinement of electrons and phonons (in one dimension = nanowires). At present, however, great interest is centered, also in our group, on polyconjugated materials with electron and phonon confinement in two dimensions (graphitic materials, nanotubes) and three dimensions (fullerenes).

In closing this short note I wish to recall again the life I lived with enthusiasm (as said above) in this part of Material Science simply born out of a clever intuition of Natta in 1958. I wish to point out and wish to emphasize that Natta's intuition on Polyacetylene did not find any enthusiastic follower in his Department since we lacked, at that time, of an interdisciplinary culture and a mutual acceptance of various disciplines and scientific mentalities. In 1958 we lost a great opportunity for making once more our Politecnico excellent in the field of science and technology.

The discovery of the stereospecific polymerization was born in our Politecnico, within the Department of Industrial Chemistry, as the result of a close collaboration between many chemists, engineers and technologists (unfortunately we did not include any physicist). The materials planned by Natta and collaborators were synthesized in the laboratories of the Department by a crowd of chemists and the properties of the materials were characterized and

avengono in tempi brevissimi dell'ordine dei femtosecondi. Si è scoperto che gli stessi materiali presentano proprietà ottiche non lineari (variazione non lineare dell'indice di rifrazione del materiale con l'intensità del campo elettromagnetico incidente) aprendo il mondo della fotonica (comandare la luce con la luce), del trattamento delle immagini ecc. La scoperta e la produzione di nuovi materiali organici fotocromici ha permesso ai ricercatori del nostro gruppo di proporre la costruzione di “interruttori ottici”, per lo sviluppo del trattamento di immagini per via olografica fino ad applicazioni nel campo della astronomia e nel campo della fotonica.

Oggi Philips produce OLED, Siemens produce “chip” organici costituiti da molti transistor di politiofene drogato per le più svariate applicazioni e importanti Società come la ST o la Pirelli svolgono intense ricerche nel settore.

È necessario qui ricordare che questi materiali organici policoniugati sono stati i precursori dei “materiali nanostrutturati” oggi considerati di grande importanza in tutto il mondo della scienza e della tecnologia. Infatti le loro proprietà originano dal confinamento (in una dimensione) di elettroni e fononi (fili quantici). Oggi sono stati ottenuti, e sono oggetto di studio anche nel nostro gruppo, materiali policoniugati con confinamenti in due dimensioni (materiali grafitici, nanotubi) e tridimensionali (fullereni).

A conclusione di questo breve scritto mi ricollego alla vita da me vissuta con entusiasmo (come accennato all'inizio) in questo settore della scienza dei materiali nata semplicemente da una intuizione di Natta del 1958. Voglio far notare con insistenza che l'intuizione di Natta sul poliacetilene non ebbe seguito ai tempi perché fra noi mancava ancora una cultura interdisciplinare ed una mutua accoglienza delle diverse discipline e mentalità scientifiche. Nel 1958 abbiamo perso un'altra grande occasione per fare grande ancora il nostro Politecnico. La scoperta della polimerizzazione stereospecifica, nata nel nostro Politecnico, aveva già visto all'interno del Dipartimento di Chimica Industriale un esempio di collaborazione stretta fra molti chimici, ingegneri e tecnologi (purtroppo non avevamo coinvolto attivi fisici). I materiali polimerici pianificati da Natta e collaboratori venivano sintetizzati nei laboratori del dipartimento dai colleghi chimici e le proprietà erano caratterizzate e studiate dai colleghi ingegneri con un vicendevole scambio di

studied by our colleagues engineers with a mutual feed-back of criticism and suggestions.

At present an engineer in the field of materials can become an original and creative inventor of new materials and innovative devices only if he has the culture, science and mentality which make him capable to devise and invent new substances with properties aimed at specific new applications (he has to be independent from a common industrial commitment conceived by others and must not depend from a catalogue of already known commercial products). With the collaboration of chemists it will be possible for him to have in his hands the desired material which will be later characterized and then turned into new devices.

Today also at the Politecnico di Milano in the field of materials we have the possibility of generating, nursing and favoring in our students such interdisciplinary education whose need was shown by Natta already almost half a century ago. The Politecnico di Milano offers a course on Material Engineering. As teachers in these courses we have the responsibility with respects to the students who have to face, professionally, in the near future a world dominated by new technologies and new materials. We have to wisely accept the new, we should not restrict ourselves in our circle, even if important; we should not react allergically to an interdisciplinary exchange of ideas and we should be open to other disciplines which are at present offered by modern science and technology. I believe that the field of innovative nanostructured materials as presented above is a technological challenge already bravely faced with success by many universities abroad and by a few also in Italy; I do hope that our Politecnico will not back out from such a challenge.

critiche e suggerimenti.

Oggi un ingegnere nel settore dei materiali può essere originalmente e culturalmente creativo (ed indipendente da una semplice commessa industriale pensata da altri o da un catalogo di prodotti già commerciali e noti) per lo sviluppo di dispositivi innovativi e produzioni nuove se ha la cultura, la scienza e la mentalità che lo rendono capace di progettare nuovi prodotti con le proprietà mirate a certe applicazioni. Con la collaborazione del chimico gli sarà possibile venire in possesso del prodotto progettato che poi potrà essere caratterizzato e trasformato in opportuni oggetti o dispositivi nuovi. Oggi anche nel nostro Politecnico abbiamo la possibilità di generare, coltivare e favorire negli studenti questa formazione interdisciplinare nel settore dei materiali con il Corso di Laurea in Ingegneria dei Materiali. La responsabilità che abbiamo come docenti nei confronti dei nostri studenti (futuri professionisti in un mondo dominato da nuove tecnologie e nuovi materiali) è quella di accettare e favorire il nuovo, di non chiudersi nel proprio, pur importante e grande orticello, e di non sentire una repulsione allergica ad un colloquio e ad una apertura culturale interdisciplinare con altre discipline e con ciò che di nuovo oggi il mondo della scienza e della tecnologia dei materiali ci offre.

Credo che il settore dei materiali innovativi nanostrutturati descritti sopra costituisca una sfida tecnologica già affrontata coraggiosamente e con successo da molti atenei stranieri e da alcuni anche in Italia; mi auguro che il Politecnico affronti con coraggio questa sfida.

Lo sviluppo commerciale del Polipropilene (PP) costituisce un caso unico nella storia dei materiali polimerici, di crescita industriale di un nuovo prodotto, prima penalizzata e frenata da gravi difficoltà tecnologiche, poi dinamicamente sospinta verso sempre nuove frontiere, una volta capite e superate le problematiche tecnologiche stesse.

Le attraenti prospettive e il grande entusiasmo scaturiti dalla scoperta del PP nel 1954

Nella seconda metà degli anni '50, in tutto il mondo industriale e in Italia con la Montecatini per prima, si scatenò un enorme interesse per le possibilità di sviluppo industriale di questo nuovo prodotto. Alla base di tale interesse stavano le attraenti, agevoli condizioni operative impiantistiche in termini di temperature e pressioni, il potenziale del PP in termini di struttura e proprietà fisico-meccaniche. [Fig. 1']

Risorse imponenti per l'epoca furono dedicate al progetto "Industrializzazione del Polipropilene" in tutto il mondo. La Montecatini primeggiò e grazie a uno sforzo tecnologico-impiantistico eccezionale, già nel 1957 divenne operativo a Ferrara il primo impianto industriale del mondo dedicato alla produzione del PP.

Le pesanti limitazioni conoscitive e tecnologiche e il loro impatto negativo sulla realtà industriale

Purtroppo, subito si affacciarono delle inattese, gravissime difficoltà che penalizzarono gravemente la produzione industriale fino a renderla pressoché inutilizzabile commercialmente. Due erano i fattori limitanti:

1. Il processo produttivo era troppo complesso, delicato e di difficile conduzione specie in relazione alla ancor troppo scarsa conoscenza del nuovo sistema catalitico.
2. La qualità e la gamma di tipi di prodotto erano così povere e limitate da precludere ogni dignitoso e interessante ingresso in settori del mercato premianti commercialmente. In sostanza un disastro industriale [Fig. 1']. La causa fondamentale d'un tale insuccesso, cui non si riusciva a porre rimedio nonostante gli sforzi profusi da parte di tutte le maggiori società petrolchimiche del mondo, non venne subito capita. Ci vollero anni di sforzi e tentativi in tante direzioni prima di capire che la causa vera, profonda era solo una: la carenza di conoscenze del sistema catalitico, delle correlazioni struttura-proprietà dello stesso, la conseguente incapacità

Paolo Galli

L'innovazione tecnologica e lo sviluppo industriale del polipropilene

Technological innovation and the industrial development of polypropylene

The commercial development of Polypropylene (PP) constitutes a unique case in the history of polymeric materials, of the industrial growth of a new product, at first penalised and hindered by serious technological difficulties, then dynamically thrust towards new frontiers once these problems were overcome.

The attractive prospective and the great enthusiasm generated with the discovery of PP in 1954

In the second half of the 1950s, throughout the industrial world and in Italy with Montecatini as the first, there was suddenly an enormous interest for the developmental possibilities of this new product. At the basis of this interest were the attractive, flexible manufacturing operating conditions in terms of temperatures and pressures and PP's potential in terms of structure and physical-mechanical properties. [Fig. 1']

At the time, great resources were dedicated to the project of "Polypropylene Industrialisation" throughout the entire world. Montecatini excelled, and thanks to an exceptional technological-manufacturing effort, the world's first industrial factory dedicated to the production of PP commenced operation in Ferrara as early as 1957.

1.

Le brillanti promesse e il primo impatto con la realtà industriale della scoperta del Polipropilene
The discovery of Polypropylene: brilliant promises and the first impact with the industrial reality

Historic survey and critical analysis of polypropylene technology development in the years 1954-2019.

YEARS	FACTORS / SITUATION	IMPACT / RESULTS
1954-1958 The "discovery" years	The highest expectations and enthusiasm for a bright future	Promises: new materials; new properties; permitting vital industrial technology; low cost materials
1958-1960 The first 30 "poor" years	The hard reality: the unexpected technology issues; the unsatisfactory subject properties and general of property imbalance	Disappoint: rigid, non-elastic, non-robust promises; slow and difficult technology commercialization; poor capability of polymer property development expansion. Disappointing market growth

The major limitations of knowledge and technology and their negative impacts on the industrial reality

Unfortunately, there were immediately some unexpected and extremely serious difficulties which gravely penalised industrial production, rendering it practically useless on a commercial level. There were two limiting factors:

1. The production process was too complex, delicate and difficult to carry out, especially in relation to the still limited knowledge regarding the new catalytic system.
2. The quality and the range of types of products were so poor and limited as to preclude any dignified and interesting insertion into commercially lucrative sectors of the market. It was basically an industrial disaster [Fig. 1']. The fundamental cause of such a failure, which, despite the profuse efforts of all of the world's major petrol-chemical companies, was incorrigible, remained a mystery for some time. Only after years of effort and after attempting many various directions it was understood that the true and fundamental cause was just a lack of knowledge of the catalytic system, of its structural-property correlations and the consequential inability to

di gestirlo industrialmente.

Il catalizzatore faceva ciò che voleva, come e quando voleva, in termini di resa catalitica, selettività e ancora più morfologia del prodotto generata, rendendo la gestione dell'impianto impossibile a causa soprattutto dei troppi vincoli operativi, spesso in reciproco conflitto. Il prodotto, difficilmente ottenuto, era scadente e inaccettabile come qualità. La reazione del mercato è stata veramente disastrosa. Per recuperare tale situazione senza uscita occorreva quindi capire a fondo il catalizzatore e imparare a gestirlo verso l'ottenimento di proprietà che oltre a consentire l'agevole e affidabile marcia di un impianto in continuo, portasse anche alla produzione di prodotti di più elevata qualità e interesse per il mercato.

La reazione tecnologica

Per superare un tale frustrante stato di crisi con la seconda metà degli anni '60 e l'inizio degli anni '70 si attivarono presso diverse industrie progetti di ricerca tesi alla comprensione e al miglioramento del sistema catalitico, del processo e dei prodotti. Lo sforzo più sistematico e profondo fu attuato in Italia nei laboratori universitari che collaboravano

2.
Il modello del
"catalizzatore ideale"
The model of
the "ideal catalyst"

THE ULTIMATE TARGET

THE IDEAL CATALYST MODEL



manage it on an industrial level. The catalyst seemed to do whatever it wanted, whenever it wanted, in terms of catalytic rendering, selectivity and above all, in the morphology of the product generated, rendering the system's management impossible due to the excess of operative conditions, which were often in reciprocal conflict. The product, which was not easily obtained, was of a poor and unacceptable quality. The market's reaction was truly disastrous. To make up for this dead-end situation it was therefore necessary to thoroughly understand the catalyst and to learn to manage it correctly in order to obtain the properties which, in addition to allowing for the factory's flexible, reliable and continual functioning, would also allow for the production of the highest quality products and of market interest.

The technological reaction

In order to overcome such a frustrating state of crisis, with the second half of the 1960s and the beginning of the 1970s, various industries initiated projects aimed at understanding and improving the catalytic system, the process and the products.

3.
La nuova dimensione
nella catalisi eterogenea
The new dimension
in heterogenic catalysis

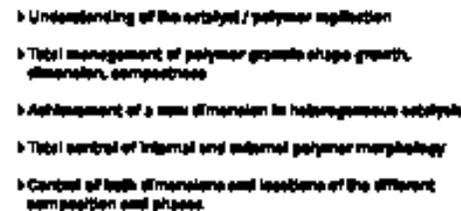
**THE NEW DIMENSION
IN HETEROGENEOUS CATALYSIS**



con la Montecatini / Montedison e presso i centri della Montedison stessa, in particolare a Ferrara. Lo sforzo mirava a un traguardo ambizioso: capire il catalizzatore in termini di struttura al punto di deciderne le proprietà e la possibilità di pilotarne attività catalitica, stereospecificità, morfologia del prodotto, proprietà finali e vasta gamma di prodotti per il commercio. Il target di un tale programma ambizioso si chiamò: "Identificazione del catalizzatore IDEALE". Un catalizzatore che avesse al contempo tutte le predette proprietà e le fornisse in maniera appropriata e gestibile sull'impianto industriale. [Fig. 2'] Una volta definito il target, il programma di rimonta tecnologica fu dinamicamente messo in atto e realizzato. La scoperta del supporto " _ " MgCl₂ avvenuta a Ferrara nel 1968 aprì la strada a una drammatica crescita dell'attività catalitica in termini di polimero generato, oggi tuttora in atto, giungendo a incrementi di diversi ordini di grandezza rispetto a quella di catalizzatori di prima generazione. La scoperta di tutta una famiglia di specifici elettrolitici consentì di migliorare la stereospecificità del catalizzatore portando l'indice di isotatticità

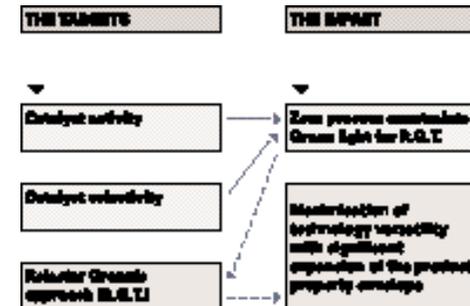
4.
L'approccio alla "tecnologia
granulo reattore"
The approach towards
"reactor granule" technology

**THE REACTOR GRANULE TECHNOLOGY
SCALI APPROACH**



The most systematic and profound efforts were carried out in Italy, in the university laboratories, which collaborated with Montecatini / Montedison, as well as in Montedison's own centres, particularly in Ferrara. The efforts aimed for an ambitious goal: to understand the catalyst in terms of structure in order to decide upon the properties and the possibilities of piloting catalytic activity, stereospecificity, product morphology, final properties and a wide range of commercial products. The target of such an ambitious program was called "Identification of the IDEAL catalyst". A catalyst having all of the aforementioned properties, capable of providing them in an appropriate and manageable way within the industrial system. [Fig. 2'] Once the target was defined, the program of technological revamping was dynamically carried out and realised. The discovery of the " _ " MgCl₂ support made in Ferrara in 1968 paved the way to a dramatic growth in catalytic activity in terms of polymer generated, still present today, in increments of various sizes with respect to the first generation catalysts. The discovery of an entire family of specific elec-

5.
I targets originali e l'impatto
del "catalizzatore ideale"
The original targets and the
impact of the "ideal catalyst"



del PP a valori superiori al 99,9%. Ma il fattore che ha esercitato l'impatto più rilevante sulla gestione degli impianti, la vita industriale e il successo commerciale del PP è stato la comprensione del meccanismo di crescita del granulo-polimero catalizzatore. La comprensione e il dominio dei principi che regolano la crescita del polimero sul catalizzatore e la conseguente capacità di controllare e pilotare il fenomeno di genesi del polimero nel "granulo reattore" hanno costituito la base di una vera rivoluzione tecnologica. Si è trattato dell'apertura di una nuova frontiera nella catalisi eterogenea, della scoperta di una nuova dimensione nella catalisi in generale. [Fig. 3'] L'impatto principale di una tale acquisizione scientifica è stata la possibilità di concepire e realizzare industrialmente la tecnologia del "granulo reattore". [Fig. 4']

L'impatto industriale delle nuove tecnologie

Tale nuova, rivoluzionaria acquisizione tecnologica, parte fondamentale nel difficile e ambizioso processo di creazione del "catalizzatore ideale", è stata la principale base e il punto di partenza per il rilancio

6.

Le ragioni tecnologiche e l'impatto sul mercato del successo PP nei "ricchi" anni '80 e '90
 Technological explanations and the impact on the market of PP's success in the "rich" years of the 1980s and 1990s

Historic survey and critical analysis of polyolefin technology development in the years 1960-2000. III

YEARS	FACTORS & SITUATIONS	IMPACT / RESULTS
1960-1980 The following explosive 20 "rich" years	The catalytic catalysts ruling, management and full "virtuosity" exploitation	Near freedom in the development of revolutionary technologies, product properties and application. Market dynamics growth
1980-1990 The new "poories" in these years	Near freedom emerging catalytic high capacities for a conventional polymer property expansion and the satisfaction of new market needs	Profound: new catalyst families; new properties and materials; low cost; environmental friendly technologies and materials

tron donators allowed for the improvement of the catalyst's stereospecificity, elevating the PP's isotactic index to values exceeding 99.9%.
 However, the factor having the greatest impact upon the management of the industrial systems, the industrial vitality and the commercial success of PP was the comprehension of the growth mechanism of the polymer granule catalyst. The comprehension and the domain of the principles which regulate the growth of the polymer to the catalyst and the consequential capacity to control and pilot the phenomenon of polymer genesis in the "granule reactor" formed the basis of a true technological revolution.
 This comprised the opening of a new frontier in heterogenic catalysis and the discovery of a new dimension in catalysis in general. [Fig.3']
 The principal impact of this scientific discovery was the possibility to conceive and industrially realise "reactor granule" technology. [Fig.4']

Industrial impact of the new technologies

This new, revolutionary technological discovery, a fundamental part in the difficult and ambitious process of creation of the "ideal catalyst", was the

e la creazione delle nuove rivoluzionarie tecnologie di produzione del PP che hanno cambiato la storia dello stesso prodotto.
 La rivoluzionaria acquisizione del "catalizzatore ideale" ha avuto un impatto determinante sulla genesi del nuovo modo di concepire sia i processi produttivi, sia i polimeri, i nuovi tipi di materiali, la loro qualità di base, i nuovi settori applicativi disponibili per il mercato e la sua dinamica e continua espansione. La chiave fondamentale di tutto il nuovo corso è stata l'assoluta, unica, senza precedenti versatilità tecnologica che è stato possibile concepire e realizzare grazie alla totale eliminazione di ogni preesistente, penalizzante vincolo operativo, di processo e di limitazione nel concepimento e realizzazione di nuovi tipi di prodotti. [Fig. 5']
 L'industria è così, quasi sorprendentemente passata dallo stadio di prostrazione e sfiducia degli anni '60 e '70 all'esplosiva, positiva e creativa nuova era di processi e prodotti iniziata negli anni '80, e che si è andata sviluppando con quella sempre maggiore aggressività tecnologica e produttiva che l'ha portata a un boom commerciale, tuttora in dinamicissimo sviluppo che non ha eguali nella storia dei materiali polimerici. [Fig. 6']

TAB.1.

Le proprietà fondamentali dei catalizzatori di IV generazione
 The fundamental properties of fourth generation catalysts

General performances of different electron-donor classes

Cat.	1 I.D.	2 E.D.	3 Yield	X.I.	mmmm	Mw/Mn	H ₂ response
A	Phthalate	Silane	70-40	96-99	94-99	6.5-8	medium/low
B	Diether	Absent	130-100	96-98	95-97	5-5.5	excellent
B	Diether	Silane	100-70	98-99	97-99	4.5-5	excellent/high
C	Succinate	Silane	70-40	96-99	95-99	10-15	medium/low

I.D. = Internal Donor
 E.D.= External Donor
 The range are mainly function of the structure of I.D. and E.D. employed.
 Bulk polymerisation at 70°C for 2h, [AlEt₃] = 2.5 mM, Al/E.D.= 20 molar, [H₂] = as needed to obtain an intrinsic viscosity of 2 dl/g

primary basis and starting point for the launching and creation of new revolutionary technologies in the production of PP, changing the product's history.
 The revolutionary acquisition of the "ideal catalyst" had a significant impact on the genesis of the new conception of productive processes, polymers, new types of materials, their basic qualities, new applicative sectors available on the market and its dynamic and continual expansion. The fundamental key of this entirely new path was the absolute, unique and unprecedented technological versatility which was possible to conceive and realise thanks to the total elimination of all pre-existing, penalising conditions of operation, process and limitation in the conception and realisation of new products. [Fig. 5']
 Thus, the industry took a surprising turn from the stages of prostration and mistrust of the 1960s and 1970s to the explosive, positive and creative new era of processes and products beginning in the 1980s and continuing to develop with ever greater technological and productive aggressiveness, bringing about a commercial boom, still dynamically underway, which has known no equals in the history of

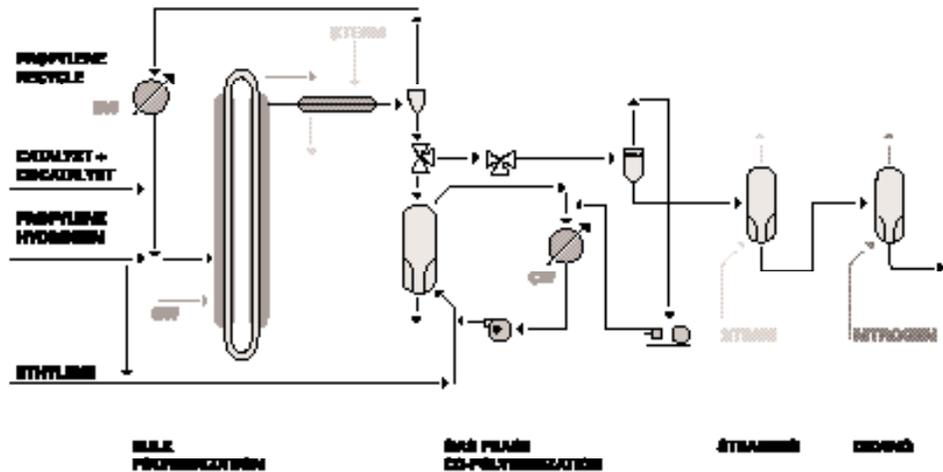
Le realizzazioni tecnologiche di maggior spicco ed impatto tecnologico-commerciale sono state la creazione di catalizzatori di IV generazione, le cui prestazioni sono riassunte nella Tabella 1'.
 Con tali prestazioni sono stati concepiti e realizzati processi assolutamente innovativi e rivoluzionari caratterizzati da bassi costi di costruzione e gestione, minimo o nullo impatto ambientale, grande versatilità in termini di capacità di generare sempre nuovi prodotti. Primo tra tutti sia storicamente (1983) sia come prestazioni, tipi di prodotti e diffusione nel mondo con ben oltre 100 impianti realizzati e funzionanti nel mondo è il processo Spheripol oggi della società Basell Polyolefins. [Fig.7']

Lo sviluppo del mercato e il grande successo commerciale del PP

Il processo Spheripol, che da solo copre oltre il 50% della capacità produttiva del PP nel mondo e i vari processi concorrenti, hanno portato e stanno ulteriormente dinamicamente spingendo a una crescita veramente esplosiva del mercato, la cui ascesa dagli anni '80 in poi ha visto incrementi spesso uguali o superiori al 10% per anno, livelli cui si sta ancora

7.
Il più noto e diffuso processo di IV generazione
The best known and most diffuse process of the fourth generation

TCM / Diester / MgCl₂ + AEM / SLM
TCM / Diester / MgCl₂ + AEM
Hybrid TCM / gas process 4th Gen. Col.

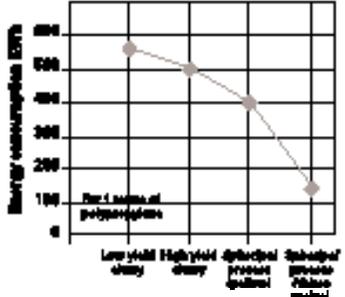


polymeric materials. [Fig. 6']
The most significant technological innovation having the greatest technological-commercial impact was due to the creation of the fourth generation of catalysts, whose performance is summarized in Table 1'.
With this performance, completely innovative and revolutionary processes were conceived and realized, characterised by low construction and management costs, minimal or no environmental impact and great versatility in terms of the capacity to continually generate new products. First among all,

mantenendo specie nelle aree del mondo in più dinamico sviluppo, raggiungendo un record di consumi/anno che ha già superato i 33 milioni di tonnellate! Tale successo commerciale, basato sull'unicità del favorevole bilancio costi/prestazioni del PP, ha consentito al PP il raggiungimento di traguardi, segnati da tassi di sviluppo annuo, superiori a quelli di qualsiasi altro materiale di largo consumo generato dall'uomo nell'ultimo secolo!
1. La riduzione dei costi: i vantaggi economici apportati dalle nuove tecnologie, rispetto ai primi processi di solo pochi decenni fa, sono veramente

8.9.
Riduzione dei costi d'investimento e di produzione per le diverse generazioni di processi del tempo fino alla IV generazione
Reduction of investment and production costs for the various generation of processes over time, up to the fourth generation

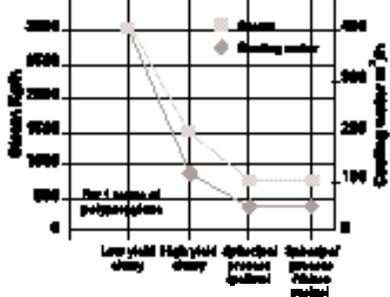
	IV Generation	III Generation	II Generation	I Generation
Polymerization	10	10	10	10
Propylene process	10	10	10	10
Residual Catalyst Recovery	10	10	10	10
Depositing Agent Recovery	10	10	10	10
Solvent Recovery	10	10	10	10
Polymer / Solvent Separation	10	10	10	10
Drying	10	10	10	10
Extrusion	10	10	10	10
Storage	10	10	10	10
Total Comparative Investment Cost	100	20	60	60



both historically (1983) as well as in terms of performance, types of products and worldwide diffusion, with well over 100 factories established and functioning throughout the world, is the Spheripol process, today belonging to the Basell Polyolefins company. [Fig.7']

The development of the market and PP's great commercial success

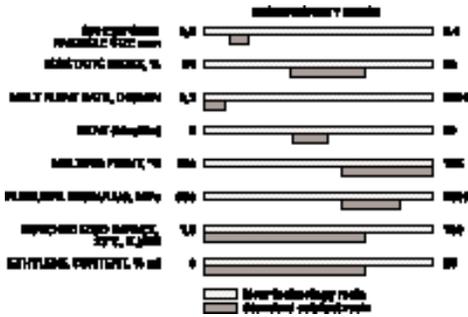
The Spheripol process, alone covering over 50% of the world's productive capacity of PP, and the other various competitive processes have brought about and continue to dynamically sustain a truly explosive market growth, whose rise since the 1980s has grown in annual increments of 10% or more. These levels are still maintained today, especially in the parts of the world in phases of dynamic development, reaching a record annual consumption which has already exceeded 33 million tons! Such commercial success, based on PP's uniquely favourable balance between costs and performance, has allowed the product to reach goals marked by annual development rates exceeding those of any other material of mass consumption generated by man in the last century!



impressionanti e parlano da soli:
2. La nuova versatilità di processo e la creazione di nuove proprietà del prodotto. La figura 10 fornisce una chiara visione della drammatica espansione delle proprietà che ha comportato l'adozione di un processo di nuova generazione come la tecnologia Spheripol rispetto a un processo della generazione immediatamente precedente degli anni '70 e inizio '80. [Fig.10']
Tale nuova versatilità si è tradotta nella crescita di tutte le proprietà chiave del prodotto in modo da consentire la massima valorizzazione applicativa

10.

La versatilità del processo Spheripol rispetto ai processi di precedente generazione
The versatility of Spheripol process with respect to the process of previous generation



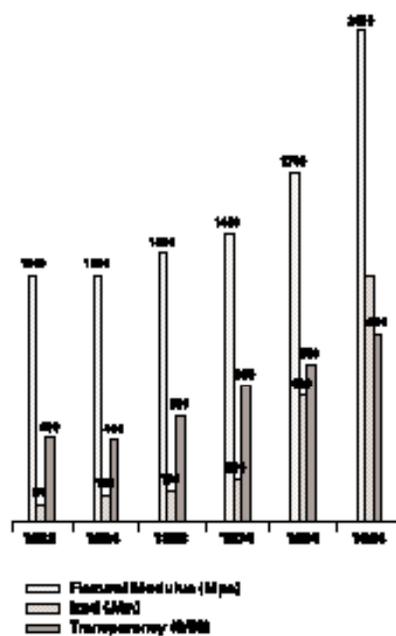
1. The reduction of costs: the economical advantages brought about by new technologies with respect to the first processes of only a few decades ago, are truly amazing and speak for themselves:
2. New versatility of process and creation of new properties of the product. Figure 10 provides a clear vision of the dramatic expansion of the properties which has brought about the adoption of a new process such as the Spheripol technology with respect to the process of the preceding generation of the 1970s and the beginning of the 1980s. [Fig.10']

Such new versatility has translated into the growth of all of the product's key properties in such a way as to allow the maximum commercial applicative development. [Fig. 11']

Such growth has allowed PP to enter into virtually every large-volume applicative sector of plastic materials, successfully competing with each of the other materials, even in their specific sectors, with both technical as well as economical advantages. Such uniqueness, tied to the various economical and environmental aspects in favour of PP as with no other polymeric material, creates the basis of the new revolutionary development of the commercial-

11.

La crescita negli anni delle proprietà chiave del polipropilene
The growth over the years of polypropylene's key properties



commerciale. [Fig.11']

Tale crescita di proprietà ha consentito al PP di entrare virtualmente in ogni settore applicativo delle materie plastiche di largo volume, competendo con successo con ciascuno degli altri materiali, anche nel loro specifico settore, con vantaggi sia tecnici, sia economici. Tale unicità, legata ai vari aspetti economici e ambientali favorevoli al PP come a nessun altro materiale polimerico sta alla base del nuovo rivoluzionario sviluppo del potenziale tecnologico-applicativo-commerciale del PP e del dinamico evolversi del suo corso sul mercato

technological-applicative potential of PP and of the dynamic evolution of its continual course on the market towards new goals. With its extensive and unparalleled set of properties, polypropylene has now been introduced for every application and market, becoming increasingly strong competition to every other type of material.

Reflecting upon the difficult beginnings of this potentially rich technology, we must conclude that rarely have the efforts of researchers and technologists, such as those who have dedicated themselves to the scientific and technological improvement of the new process, had such a strong and significant impact in the commercial success of an industrial product.

verso sempre nuovi traguardi. Oggi, grazie al suo ricco e ineguagliabile set di proprietà, il polipropilene è entrato con autorità in ogni settore applicativo e tipo di mercato, competendo, con crescente successo, con ogni altro tipo di materiale

Ripensando alla difficile partenza di questa potenzialmente così ricca tecnologia, dobbiamo concludere che poche volte lo sforzo dei ricercatori e dei tecnologi che si sono dedicati al miglioramento scientifico e tecnologico del nuovo processo, ha avuto un impatto così forte ed è stato così determinante per il successo commerciale di un prodotto industriale.

Adriano De Maio

Strategie per la ricerca scientifica e tecnologica: a quando un nuovo premio Nobel in Italia?

Strategies for scientific and technological research: when will there be another Nobel prize in Italy?

In a situation where we rightly hear reproaches and laments on the paucity of resources devoted to Research and Development, where very frequently there appear more or less grounded and reliable classifications, where Italy takes increasingly lower places on the ladder of innovative capacity with respect to the all other developed countries, where universities threaten strikes for lack of money, where there is a lot of talk about public research centres with great ideological and theoretical clashes but without substantial changes, where signs of change in the behaviour of companies are not to be seen, asking the question that appears in the title may appear strange or, rather, even controversial. The objective of this short note is however not to be uselessly argumentative or controversial, rather to provide some food for thought on what realistically could be done to reverse a trend that continues to be negative.

Many lessons can be drawn from the one that appears to be the most “completely Italian” Nobel prize of all, from after the war to date, in the scientific-technological field. It is then worth pointing out some issues that could be taken as an example to define a strategy for future years and which are listed and briefly commented below.

- First of all we need to consider the “size” of the

In una situazione in cui si sentono, a ragione, rimproveri e lamentele sulla scarsità di risorse dedicate alla Ricerca e Sviluppo, in cui con elevata frequenza appaiono classifiche più o meno circostanziate ed affidabili, in cui l'Italia occupa posizioni sempre più basse nella scala della capacità innovativa nei confronti di tutto l'insieme dei paesi sviluppati, in cui le università minacciano serrate per la mancanza di fondi, in cui si fa un gran parlare di centri di ricerca pubblici con grandi scontri ideologici e di principio ma senza modifiche sostanziali, in cui non si vedono segni di cambiamento nel comportamento dell'impresa, può apparire strano o, forse, addirittura provocatorio porsi la domanda che appare nel titolo. Non è però lo scopo di questa breve nota essere inutilmente polemica o provocatoria, quanto piuttosto fornire alcune riflessioni su quanto, realisticamente, potrebbe essere fatto per invertire una tendenza che continua a rimanere negativa.

Molti insegnamenti possono essere tratti da quello che appare essere il premio Nobel più “completamente italiano” fra tutti, dal dopoguerra ad oggi, nel settore scientifico-tecnologico. Conviene allora mettere in evidenza alcuni aspetti che potrebbero essere presi come esempio per disegnare una strategia per i prossimi anni e che di seguito vengono elencati e sommariamente commentati. Innanzitutto occorre fare qualche riflessione sulle “dimensioni” del gruppo di ricerca che faceva capo a Giulio Natta. La cosiddetta “massa critica”, valutabile in termini sia di quantità e di qualità di ricercatori, sia di attrezzature di laboratorio era presente, e questo permetteva di rendere possibile il raggiungimento di risultati di alto significato.

In secondo luogo, uno dei centri più significativi in cui si svolgeva la ricerca era l'Università che gode di alcune caratteristiche proprie che, per quanto concerne il nostro ragionamento, sono due in particolare. Da un lato il disporre di un continuo flusso di “menti giovani” che, come è stato rilevato da più parti, costituiscono una delle risorse più importanti per le attività di ricerca. Dall'altro lato l'esistenza naturale di “ricerca di curiosità”, slegata da obiettivi specifici, che molto spesso costituisce la base per i grandi salti di qualità, presente anche in una università come il Politecnico di Milano che, come tutti i Politecnici, ha una particolare attenzione alla ricerca “mirata”.

In terzo luogo, augurandomi di non sbagliare nella interpretazione degli scritti che parlano delle attivi-

research group headed by Giulio Natta. The so called “critical mass”, both in terms of quantity and quality of researchers, as well as of laboratory equipment was there, and this made possible the achievement of highly significant results.

- Secondly, one of the most significant centres where research was carried out was the University, which has some specific features, two of which have specific reference with our theme. On the one hand, the fact of having a constant flow of “young minds” who, as has been shown by many, represent one of the most significant resources for research operations. On the other hand, the natural existence of “curiosity research”, unlinked to specific objectives, which very often is the base for great quality leaps, also present in a university such as Politecnico di Milano which, like all Technical Universities, devotes specific attention to “targeted” research.

- Thirdly, hoping that I do not make mistakes in interpreting the documents that talk of the activities of the “Natta group”, different skills were present regarding different subjects, though in a period in which this need was much less felt than today.

- Fourth, the connection between university and industry, on which interpretations and comments seem useless, since they have been so widely debated and analysed and they are so clear.

- Fifth, the attention to the possibility to produce the discovery and, more in general, to consequences induced in the manufacturing and economic field, a factor (the consideration of possible effects) which is not secondary to any definition of research strategies, by pointing out what are the most appropriate effects to consider, taking into account the specific research area, since not always economic and manufacturing aspects are the ones that must be considered as primary.

- Last, and maybe the most important of all, the intimate conviction, in the world of research and in industry, and also in common feeling, of the absolute relevance of research as primary factor for the development of a community. The social role of the researcher and scientist, the significance of businesses which “produced innovation” was high and shared by the majority of the public opinion.

How much can we find these aspects today? How far are we from the situation briefly described above? In my opinion, here lies the main problem which makes our positioning critical, in the international arena, with respect to research.

tà del “gruppo Natta”, erano presenti differenti competenze disciplinari, pur in un periodo in cui questa necessità era molto meno avvertita di oggi. In quarto luogo il collegamento fra università ed industria, su cui sembra inutile proporre interpretazioni e commenti, tanto sono stati discussi ed analizzati e tanto sono evidenti.

In quinto luogo l'attenzione alla producibilità della scoperta e, più in generale, alle ricadute indotte nel campo produttivo ed economico, fattore questo (la considerazione delle possibili ricadute) non secondario in qualsiasi formulazione di strategie di ricerca, individuando quali possono essere le ricadute più appropriate da considerare, tenendo conto della specifica area di ricerca, in quanto non sempre sono aspetti di natura economica e produttiva quelli che devono essere considerati primari.

Infine, forse più importante fra tutti, la convinzione intima, nel mondo della ricerca, in quello industriale, ed anche nel sentire comune, della rilevanza assoluta della ricerca come fattore primario di sviluppo di una comunità. Il ruolo sociale del ricercatore e dello scienziato, il rilievo delle industrie che “producevano innovazione” era elevato ed era condiviso dalla maggioranza della stessa opinione pubblica.

Quanto sono presenti oggi questi aspetti? Quanto siamo lontani da una situazione quale quella brevemente descritta? A mio avviso risiede qui il principale problema che rende critico il nostro posizionamento, nel campo internazionale, relativamente alle attività di ricerca.

Il “sistema della ricerca” è un sistema che strutturalmente è caratterizzato da un “feedback positivo”, il che significa, tradotto in linguaggio corrente, che se le cose vanno bene, andranno sempre meglio e andranno sempre peggio se vanno male. La dimostrazione è semplice e ci si può limitare a quanto capita riguardo alla capacità di attrazione di risorse qualificate, siano esse persone, laboratori, infrastrutture, fondi, industrie basate sulla scienza e sulla innovazione tecnologica. Perché i “cervelli” fuggono? O, meglio ancora, perché non arrivano cervelli, che è molto più grave? È la qualità della ricerca ad attrarre e, aumentando la attrazione, aumentando i talenti brillanti presenti, è facile che la ricerca migliori ulteriormente, attraendo così altri cervelli e così via. Lo stesso può dirsi per la localizzazione di laboratori e di industrie.

In estrema sintesi si potrebbe dire che la linea guida per definire una strategia per la ricerca scientifica e

The “research system” is a system which is structurally characterised by a “positive feedback”, which means, in simple words, that if things go well, they will always go better and will always go worse when they go bad. This is easy to demonstrate, as we can simply see what happens with respect to the capability of attracting skilled resources, be they people, laboratories, facilities, funds, industries based on science and technological innovation. Why do “brains” escape? Or, even better, why do brains not arrive, which is much worse? It is the quality of research which attracts, and increasing the attraction, increasing the number of brilliant talents, research can easily improve further, thus attracting other brains, and so on. The same can be said for the localisation of laboratories and industries and so on.

In a nutshell, we could say that the guideline to define a strategy for scientific and technological research which increases the likelihood of having other Nobel Prize Laureates in Italy, is trying to reverse the sign of the “capability of attraction”, from negative, as it is now, to positive. This can only be obtained by causing a radical change: measures which attempt stepwise improvements, which do not turn upside down the existing situation, with minimal effects, are worth nothing: they only make more difficult a change of route for the future. “Halfway solutions” are of no use, rather they are detrimental, because they reduce the tension.

The lessons of Giulio Natta and his group are extremely useful exactly to define the lines of radical change.

Let us reconsider and read again the features described before.

- Critical mass. Given the paucity of overall resources and current economic situation, the only possibility to reach a critical mass is selecting. Selecting both research areas and research groups. This means devoting attention and resources on the one hand to “foresight”, by singling out the most promising areas which are in line with actual existing capacities and, on the other hand, the definition of severe evaluation systems. Removing the general distribution of resources and introduction of appropriate classification and evaluation systems. Concentration of infrastructures. Not last, simplify all red tape procedures, therefore releasing resources for research.

- Relationship with universities. Interchange and

tecnologica che aumenti la probabilità di poter contare su altri premi Nobel in Italia, consiste appunto nel cercare di invertire il segno della “capacità di attrazione”, da negativa, come è ora, a positiva.

Questo è possibile ottenerlo soltanto provocando un cambiamento radicale: misure che tentino miglioramenti graduali, che non sconvolgano la situazione in essere, di portata minimale, non servono a niente: servono soltanto a rendere più difficile un eventuale cambiamento di rotta nel futuro. Le “mezze misure” non servono, anzi sono dannose, perché riducono la tensione.

Proprio per definire le linee di cambiamento radicale la lezione di Giulio Natta e del suo gruppo è molto utile. Riprendiamo e rileggiamo allora le caratteristiche evidenziate prima.

- Massa critica. Data la scarsità di risorse complesive e la situazione economica odierna, l’unica possibilità di raggiungere la massa critica consiste nel selezionare. Selezionare sia le aree di ricerca sia i gruppi di ricerca. Questo significa dedicare attenzione e risorse da un lato al “foresight”, individuando le aree più promettenti e che siano coerenti con le effettive capacità presenti e, dall’altro lato, alla messa a punto di sistemi severi di valutazione. Eliminazione della distribuzione a pioggia delle risorse ed introduzione di appropriati sistemi di classificazione e valutazione. Concentrazione infine delle infrastrutture. Non da ultimo semplificare tutte le procedure burocratiche, con il che si liberano anche risorse per la ricerca.

- Rapporto con le università. Occorre facilitare l’interscambio e la mobilità, a tutti i livelli, fra università e centri di ricerca, eliminando le barriere che, non si sa bene in base a quali principi, sono state erette.

- Inter e multi disciplinarietà. Le barriere corporative disciplinari sono molto forti e impediscono o, quanto meno, rendono più complicate, molte ricerche e molte innovazioni. Questa è forse l’area più difficile da toccare, perché vengono colpiti interessi e corporazioni accademiche consolidate, che quindi esercitano un forte e diffuso potere.

- Il collegamento università e, più in generale, centri di ricerca ed industria è un tema su cui si è a lungo dibattuto e su cui quindi non è opportuno soffermarsi ulteriormente, se non per dire che, forse, i “laboratori congiunti”, sembrano rappresentare una ottima soluzione.

- La politica di promuovere e facilitare le ricadute è

mobility must be facilitated, at all levels, between universities and research centres, removing the barriers which – based on which principles, it is not sure - have been erected.

- Inter- and multidisciplinary. Corporative barriers among disciplines are very strong and obstacle or, at least, make many research projects and many innovations more complicated. This is probably the most difficult area to touch, because established academic interests and corporation are affected, which therefore exert strong and widespread power.

- The connection between university and, more in general, research centres and industry is an issue that has been long debated and on which it is therefore not appropriate to dwell further, but to say that, maybe, “joint laboratories”, seem to represent an excellent solution.

- The policy of promoting and facilitating effects is also subject of wide debate, which we just mention here, from spin-offs to technology transfer. But it is however worth noting that there is no point in creating cathedrals in the desert. These measures do not give rise to business spirit, they only serve to facilitate and support existing businesses.

- And lastly it is necessary to come back to creating a general “culture” which sees in research and scientific and technological development one of the greatest assets of a community. Unfortunately it is not easy to define a set of actions that can affect collective culture and perceptions. But this is not a reason to surrender, though knowing that we probably need to start from the bottom, from training in young age, up to mass communication means, and up to being aware that training and research are not and must not be considered as belonging to one “side”, since they are the real asset of a community. Natta and his celebrations can be an excellent opportunity.

We do not know if, following these lines, we will have in future years another Nobel Prize Laureate, but we will definitely increase our chances of obtaining this result.

1. Milano, giardino del Politecnico: il Professor Natta arriva in Istituto tra gli applausi degli allievi e dei collaboratori. Milan, in the garden of the Politecnico: on his arrival at the Institute, Professor Natta is applauded by students and collaborators.



anch’essa oggetto di ampio dibattito a cui si rimanda, dagli spin-off al trasferimento tecnologico. Ma è opportuno comunque notare che è inutile creare cattedrali nel deserto. Queste misure non fanno nascere la imprenditorialità, servono soltanto a facilitare e sostenere una imprenditorialità esistente.

- Ed infine occorre tornare a creare una “cultura” generale che veda nella ricerca e nello sviluppo scientifico e tecnologico uno dei più grandi patrimoni di una comunità. Purtroppo non è facile definire un insieme di azioni che possano intervenire sulla cultura e sulla percezione collettiva. Ma non per questo ci si deve arrendere, pur sapendo che bisogna partire probabilmente dal fondo, dalla formazione in tenera età, fino ai mezzi di comunicazione di massa e fino ad essere consapevoli che la formazione e la ricerca non sono e non devono essere considerate di nessuna “parte”, in quanto sono il vero patrimonio della comunità. Natta e le celebrazioni a lui collegate possono essere una occasione ottima.

Non sappiamo se, seguendo queste linee, avremo nei prossimi anni un altro premio Nobel, ma sicuramente aumenteremo la probabilità di raggiungere questo risultato.

Luciano Caglioti

Natta-Giustiniani: una sinergia vincente Natta-Giustiniani: a winning synergy

Those who look at Italian policy with respect to research and innovation cannot but give a pessimistic judgment: a lot of brain-work, many ideas, but little application of those ideas in the country: just to make a few examples, Alessandro Volta, Antonio Pacinotti, Galileo Ferraris, Antonio Meucci, Guglielmo Marconi, Enrico Fermi gave life to industrial ventures which started from their ideas but were implemented and exploited in other countries. The case of Natta is an exception to this situation, which is not encouraging. And not just that, it is also an exception to that Italian habit (though it is not only Italian) which sees the poor collaboration between industrial research and public research. Natta's scientific and industrial success came from the close collaboration between Milan Polytechnic and Montecatini, backed by the National Research Centre. In my mind, this story takes on the shapes of personal and family memories: there was a strong friendship between the two families, Natta's and my father's. Natta often came to Rome, often had lunch with us, sometimes together with the other key figure of that venture, ing. Giustiniani, managing director at Montecatini. A peculiar detail: I happened to be in Rome (I worked at the Milan Polytechnic) at my parents' home, and I received a call from the Swedish embassy that requested the telephone number of prof. Natta. In turn, I asked if I had well understood the reason, and the silence / little laugh from my counterpart sounded like a silence / consent. The Nobel prize came, this unique award, and prof Natta himself, while the Polytechnic celebrated

Chi guarda alla politica italiana in materia di ricerca e di innovazione è costretto ad un giudizio pessimistico: molto cervello, molte idee, ma poco sfruttamento di queste idee in patria: per fare qualche esempio, Alessandro Volta, Antonio Pacinotti, Galileo Ferraris, Antonio Meucci, Guglielmo Marconi, Enrico Fermi diedero vita ad avventure industriali che partirono dalle loro idee, ma che furono realizzate e sfruttate in altri paesi. Il caso di Natta costituisce una eccezione a questa non incoraggiante realtà. Non solo, ma esso costituisce una eccezione anche a quella abitudine italiana (anche se non solo italiana) che vede scarsa collaborazione fra ricerca industriale e ricerca pubblica. Il successo scientifico ed industriale di Natta provenne infatti da una stretta collaborazione fra il Politecnico di Milano e la Montecatini, con l'appoggio del CNR. Nella mia mente, la vicenda assume i contorni dei ricordi personali e familiari: vi era una forte amicizia fra le due famiglie, quella di Natta e quella di mio padre. Natta veniva spesso a Roma, era spesso a colazione da noi, talvolta insieme all'altro protagonista dell'avventura, l'Ingegnere Piero Giustiniani, amministratore delegato della Montecatini. Un particolare speciale: ero a Roma per caso (lavoravo infatti al Politecnico di Milano, a casa dei miei genitori, e raccolsi una telefonata dell'ambasciata svedese che chiedeva il numero telefonico del Professor Natta. A mia volta chiesi se avevo ben capito il motivo, e il silenzio / risatina dell'interlocutrice suonò come un silenzio – assenso. Venne il Nobel, venne questo riconoscimento unico, e lo stesso Professor Natta, mentre il Politecnico lo festeggiava, disse che “senza la collaborazione fra il Politecnico e la Montecatini l'impresa non sarebbe stata possibile”. E vale la pena di riandare all'altro protagonista, a Giustiniani, che andai a trovare anni dopo per preparare un articolo sulla chimica italiana da pubblicare su “Il Giorno”. Era la primavera dell' '81, le lotte erano da tempo finite, e le passioni spente. “Il bello per l'industria italiana fu tra il '50 e il '60. Si sviluppò al massimo l'impresa Montecatini, che Donegani aveva fondato e che io avevo preso in mano, durante la guerra, alla sua scomparsa. I tedeschi mi misero in galera. Ci rimasi due mesi. Difendevo gli impianti di San Giuseppe. Quando nel '50 dalla Terni tornai alla Montecatini, si svolgevano le stesse produzioni di prima della guerra, meno gli esplosivi che erano finiti con il conflitto. Si facevano acido solforico, fertilizzanti, tessuti, minerali. Non si parlava del

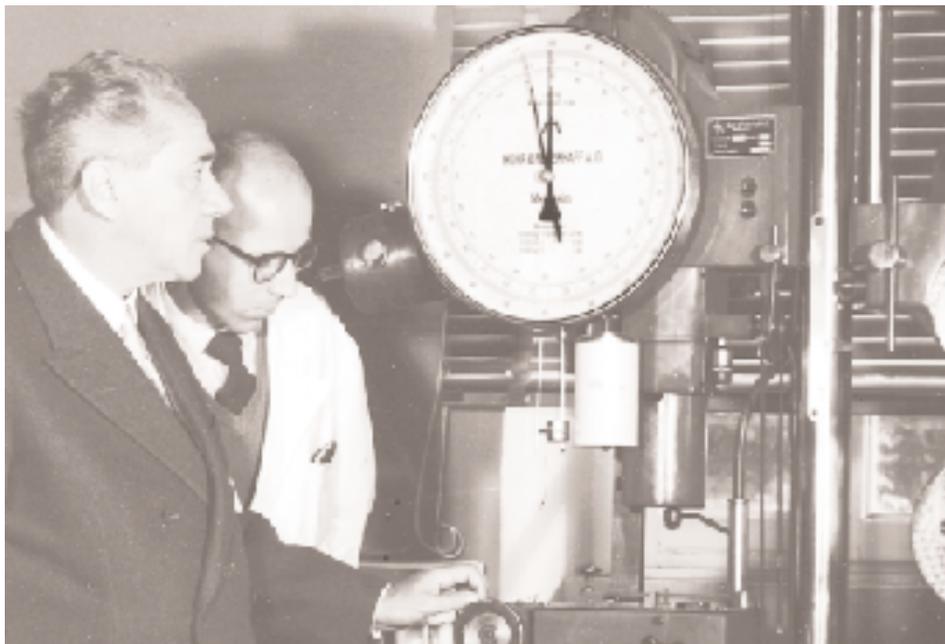
him, said that “without the collaboration between the Polytechnic and Montecatini this enterprise would not have been possible”. And it is worth mentioning the other character Giustiniani, whom I met years later to prepare an article on Italian chemistry to publish in the newspaper “Il giorno”. It was spring 1981, fights had been over for a long time, and passions were vanished. “The beautiful season of Italian industry was between 1950 and 1960. There was the maximum development of the company Montecatini, which Donegani had set up and I had taken in my hands, during the war, after his passing away. Germans put me in jail. I remained there for two months. I defended San Giuseppe plants. When in 1950 I came back from the company Terni to Montecatini, it was producing the same things as before the war, minus explosives, which had finished with the war. We made sulphuric acid, fertilisers, textiles, minerals. We did not talk about the future, about polymers, and some wanted to contract out this field to ANIC (set up in 1935 by Montecatini and Agip). We had the production of synthetic rubber from alcohol, under German licence, during the war there were some operations regarding polymers. In 1938, in Cesano Maderno, with Natta, we produced 50 tons per month of polyvinyl chloride, again under German licence. We ranked second in the world, after the Germans. Its cost was ITL 6 per kg, and we sold it at 12. Natta's name appears in the story, and I asked how the Natta-Giustiniani combination was created, which led to polypropylene and then to the Nobel prize. “Natta worked as a consultant for Terni, with me, between 1945 and 1950. We made calcium carbide, we wanted to make rubber from acetyl. In July 1947 Natta and I left for the U.S., and we went all over the place for two months. We saw olefins plants: it was already petrochemical industry”. And so Giustiniani saw, and he was telling me now, the great acetyl-ethylene development: from calcium carbide, a precursor to acetyl, to cracking. From coal – a precursor of carbide – to raw oil, precursor of ethylene. Chemistry was witnessing the same change that had occurred in energy: coal was leaving to oil the main role it had played until the end of the war. “In 1950 I went to Montecatini. Natta followed me as a consultant. We had a first cracking plant in Ferrara. Acetyl chemistry had made way to ethylene chemistry. Natta went to Essen to a conference held by Ziegler. He came back very impressed and convinced me to

1.
Con due suoi
collaboratori (1957)
With two
collaborators (1957)



futuro, dei polimeri, e si voleva appaltare questo settore all'ANIC (creata nel '35 da Montecatini ed Agip). Avevamo una produzione di gomma sintetica da alcool, su licenza tedesca, durante la guerra, c'era qualche attività sui polimeri. Nel '38, a Cesano Maderno, con Natta, si producevano 50 tonnellate al mese di cloruro di polivinile, ancora su licenza tedesca. Eravamo i secondi al mondo, dopo i tedeschi. Costava 6 lire al chilo, lo vendevamo a 12.” Compare nel discorso il nome di Natta, e chiedo come nacque il binomio Natta-Giustiniani che portò al polipropilene e quindi al Nobel. “Natta era consulente della Terni, con me, fra il '45 ed il '50. Facevamo carburo di calcio, volevamo fare gomma da acetilene. Nel luglio del '47 Natta ed io partimmo per gli USA, e girammo in lungo ed in largo per due mesi. Vedemmo gli impianti di olefine: era già petrolchimica”. E così Giustiniani vide, ed ora mi raccontava, la grande svolta acetilene - etilene: dal carburo di calcio, precursore dell'acetilene, si passa al cracking. Dal carbone - precursore del carburo - si passa al greggio, precursore dell'etilene. Si verificava nella chimica la stessa svolta che si era verificata nell'energia: il carbone cedeva al petrolio il ruolo di protagonista che aveva avuto fino alla

2.
Nel Laboratorio
Materie Plastiche (1957)
In the Plastic Materials
Testing Lab (1957)



take Ziegler as a consultant of Montecatini. According to our agreements, Ziegler would make basic research, we development and application. Having Ziegler was a mandatory choice, to start with. Then, around 1953 we started at full gear with Natta. We had Montecatini's Petrolchimico plant, the Ferrara laboratories (39), and at Ronzoni in Milan we developed catalysts (The Ronzoni Institute was a species of dependance of Polytechnic; author's note). At the Polytechnic Natta managed to polymerise propylene. Ziegler has sworn it was impossibile. We had it confirmed

fine della guerra. "Nel '50 passai alla Montecatini. Natta mi seguì come consulente. Avevamo un primo impianto di cracking a Ferrara. La chimica dell'acetilene aveva lasciato il posto a quella dell'etilene. Natta andò ad Essen ad una conferenza di Ziegler. Tornò impressionato e mi convinse a prendere Ziegler come consulente della Montecatini. Gli accordi erano che Ziegler avrebbe svolto ricerca di base, noi sviluppo e applicazione. Quella di avere Ziegler fu una scelta obbligata, per cominciare. Poi, intorno al '53 partimmo in forze con Natta. Avevamo il Petrolchimico della Montecatini, i labo-

by Ziegler who wrote to us that it was not possible to polymerise propylene with those catalysts. It was important for the patent". We could see a very strong industrial development. What happened? What was the reason which prevented this development, though significant, from taking up a winning size? "In 1960 we found ourselves in an very weak situation, in economic terms. The choice was to stop or carry on. From inside the group there were those who countered polypropylene. Above all, we did not find support from outside. We tried to start a collaboration with Cazzaniga's ESSO. We already had an area in Ferrara. But it was not possible because of US Antitrust law. You see, we always made one step after another, and we paid the last one with the one before. With pyrites, sulphuric and superphosphates we paid Fauser's nitrogen (this is the Fauser process, which gave Montecatini the world leadership in the field of fertilisers, author's note). In 1924 at Montecatini we made ammonia with guano from Chile, then came the Fauser process and we built five plants, in Novara, Merano, Crotona, Belluno, and in Sardinia. But profits from nitrogen did not come". "Couldn't the Government have stepped in?" I interrupted him with the obvious question of one who sees thousands of billions being allocated to collapsing companies. "Not only did the government not help us, but it began giving to everyone useless cracking capacities. Excess nitrogen capacity was installed in Ravenna. Edison, fearing nationalisation, began making cracking without studying the market. They sold fertilisers at any price. They bought licences: for example, they entered methacrylate with a Japanese licence. They did not help us, and counter resources were created. It was a pity" "What do you think of what happened later?" "Crimes". Giustiniani's words summarise the great transition from an Italy that fought to rise again and affirm itself to an Italy which, convinced of having reached the irreversible land of gold, began to change principles, mentality, protagonists. For chemical research this was a very serious setback. Giustiniani's star waned, and Montecatini with him.

ratori di Ferrara (39), e al Ronzoni di Milano sviluppavamo i catalizzatori (L'Istituto Ronzoni era una specie di dependance del Politecnico, n.d.a.). Natta al Politecnico riuscì a polimerizzare il propilene. Ziegler aveva giurato che era impossibile. Ce lo facemmo confermare da Ziegler che ci scrisse che con quei catalizzatori non si poteva polimerizzare il propilene. Era importante ai fini brevettuali". Si intravedeva uno sviluppo industriale fortissimo. Cosa accadde? Quale fu il punto dolente che impedì che questo sviluppo, pur ragguardevole, assumesse dimensioni vincenti? "Nel '60 ci troviamo in una situazione asfittica, economicamente parlando. La scelta era fermarsi o andare avanti. Dall'interno del gruppo vi era chi ostacolava il poli-propilene. Ma soprattutto non trovammo appoggio esterno. Cercammo di instaurare una collaborazione con la ESSO di Cazzaniga. Avevamo già un terreno a Ferrara. Ma non fu possibile per la legge Antitrust americana. Vedi, noi abbiamo sempre fatto un passo dopo l'altro, pagando l'ultimo col precedente. Con le piriti, il solforico ed i superfosfati abbiamo pagato l'azoto di Fauser (si tratta del processo Fauser, che diede alla Montecatini una leadership mondiale nel settore dei fertilizzanti n.d.a.). Nel 1924 alla Montecatini facevamo ammoniaca col guano cileno, poi venne il processo Fauser e facemmo cinque impianti, a Novara, Merano, Crotona, Belluno, ed in Sardegna. Ma gli utili dell'azoto vennero a mancare". "Ma lo Stato non poteva intervenire per una cosa di questo genere?" interruppi con la domanda ovvia di chi vede stanziare migliaia di miliardi per aziende in sfacelo. "Lo Stato non solo non ci aiutò, ma si mise a dare a destra ed a manca capacità inutili di cracking. A Ravenna fu installata una capacità esuberante di azoto. La Edison per paura della nazionalizzazione si mise a fare cracking senza studiare il mercato. Vendevano fertilizzanti a prezzi qualunque. Compravano licenze: ad esempio nel metacrilato entrarono con una licenza giapponese. Non si aiutava, e si creavano risorse contrarie. Fu un peccato" "Cosa ne pensa di ciò che è accaduto dopo?", "Delitti". Le parole di Giustiniani sintetizzano la grossa transizione da un'Italia che lottava per risorgere ed affermarsi ed un'Italia che, convinta di aver raggiunto un irreversibile bengodi, iniziava a cambiare premesse, mentalità, protagonisti. Per la ricerca chimica fu uno stop gravissimo. La stella di Giustiniani tramontò, e la Montecatini con lui.

Giulio Natta, oltre che un grande scienziato, è stato anche un grande maestro. Egli ha saputo in effetti creare in Italia una delle più belle e prestigiose Scuole di Ingegneria Chimica moderna. Sin dal suo ritorno a Milano nel 1938-39 egli impostò l'insegnamento di Chimica Industriale su basi radicalmente nuove. Anziché limitarsi ad illustrare i processi dell'industria chimica, come era allora tradizione, basò il suo insegnamento sulla presentazione e l'applicazione dei fondamenti chimici, chimico - fisici e tecnologici necessari per capire la logica, direi la "filosofia", seguita nella realizzazione dei processi, delle produzioni e degli impianti chimici. In tale modo Giulio Natta dava ai giovani allievi la formazione e gli strumenti necessari per affrontare le molteplici attività dell'industria chimica ed il suo evolvere.

Fin che il suo stato di salute glielo ha consentito, il professor Natta ha sempre preparato con cura le sue lezioni, tanto da chiedere di non essere disturbato prima di entrare in aula: doveva preparare la lezione.

Sono eloquenti in proposito i suoi appunti, uno dei quali è qui di seguito riprodotto.

L'attività scientifica di Giulio Natta e della Sua Scuola nel campo della Chimica Macromolecolare, sviluppatasi dal '54 fino alla fine degli anni '60, ha portato alla scoperta di oltre centotrenta tipi di nuovi polimeri, per ciascuno dei quali è stato individuato il sistema catalitico adeguato e definita la struttura e per diversi dei quali sono state valutate caratteristiche fisiche, chimico-fisiche e meccaniche. Allo stato attuale, di questi polimeri hanno trovato importanti applicazioni il polipropilene isotattico, il polibutadiene 1,4-cis, i copolimeri a base di etilene e propilene e, in misura minore altri, quali il polibutene - 1 isotattico e il 4 - metilpentene-1 isotattico.

L'importanza sul piano applicativo e industriale di questi risultati si evince da alcuni dati. Tra tutti i prodotti chimici, il polipropilene, la cui produzione mondiale supera 31 milioni di t/anno, per un valore approssimativo di oltre 17 miliardi di dollari, si colloca al quarto posto, in termini di valore economico, dopo polietilene, polietilenterefalato e ammoniaca [v. tab. 1*].

Nelle sue varie tipologie il polipropilene trova applicazione per la produzione di materie plastiche (Moplen ed altre), fibre (Meraklon ed altre) film

Italo Pasquon

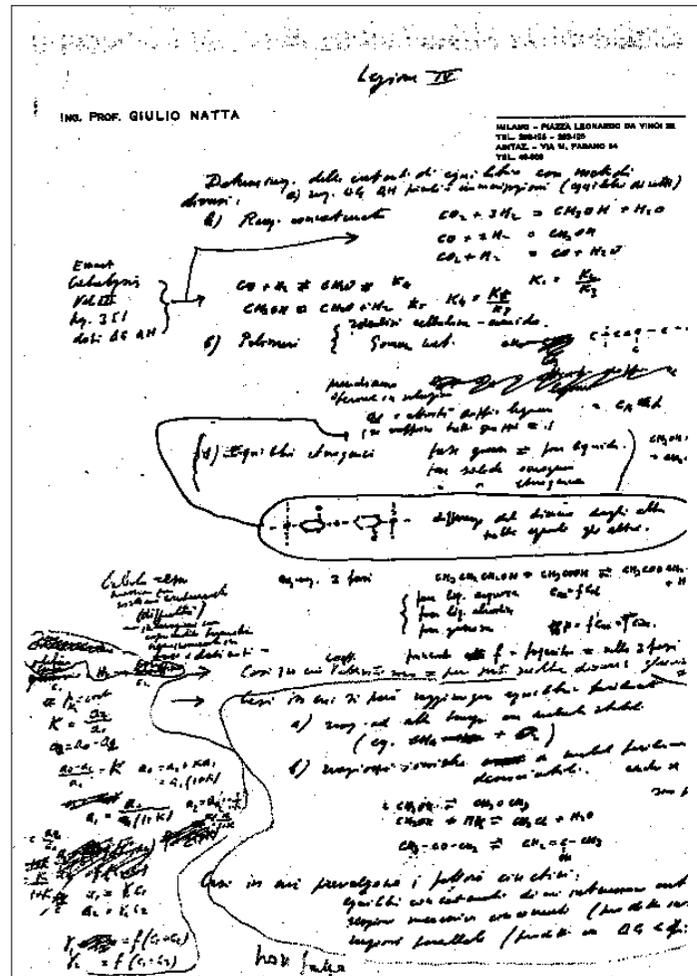
L'eredità di Giulio Natta nella Scuola e nell'industria

Giulio Natta's legacy at School and in industry

In addition to being a great scientist, Giulio Natta was also a great professor. Indeed he was able to create one of the finest and most distinguished schools of modern chemical engineering in Italy. Since his return to Milan in 1938-39, he laid radically new foundations for the University courses in Industrial Chemistry. Rather than confining himself to merely illustrate the processes of the Chemical Industry, as it was traditionally done until then, he based his lectures on the presentation and application of the chemical, physico-chemical and technological fundamentals which are required in order to understand the logics, I would say the "philosophy", followed in the realization of chemical processes, productions and plants. By so doing, he would give his young students the most suitable formation and the necessary tools for addressing the variety of activities associated with the chemical industry, as well as with its development. Until permitted by his health conditions, Professor Natta used to prepare his lectures with great care, asking not to be disturbed before entering the classroom: he had to get ready for his class! In this regard, his lecture notes are quite evocative: some of them are herein reproduced.

The scientific activity of Giulio Natta and his School in the field of Macromolecular Chemistry developed from 1954 to the end of the 1960s, and led to the discovery of over one hundred and thirty types of new polymers, for each of which the appropriate catalytic system was found, their struc-

1. Appunti autografi di Giulio Natta per le lezioni di Chimica Industriale
Giulio Natta's original notes for Industrial Chemistry lectures



ture defined, and for many of which physical, chemical-physical and mechanical features were assessed.

At present, of these polymers, significant applications have been found for isotactic polypropylene, cis 1.4 polybutadiene, ethylene- and propylene-based copolymers and, to a lesser extent, others such as isotactic polybutene - 1 and isotactic 4 - methylpentene-1.

The significance of these results in terms of applications and in industry can be shown by means of some data.

Among all chemical products, polypropylene, whose global production exceeds 31 million tons/year, for an approximate value of over 17 billion dollars, ranks fourth, in terms of economic value, after polyethylene, polyethyleneterephthalate and ammonia [see tab. 1*].

In its various types, polypropylene is applied for the production of plastics (moplen and others), fibers (Meraklon and others) films (Moplepan and others). It is used in the car industry (bumpers, other inner and outer parts, cables, equipped cells for ambulances, etc.), in the industry of rigid and flexible packaging (boxes, containers for soft drinks, food products, drugs, etc.), of household appliances, furniture and various objects for the house, sport, leisure, toys, bottles and items for industrial use (pipes, various containers, parts of machines, electric systems, etc.).

In the field of fibres (textiles, ropes, raffia, etc.) polyolefins (mainly polypropylene), with a global production of around 6 million tons/year and a value of over 7 billion dollars, rank third in terms of economic value after polyester (dacron, terital) and polyamides (nylon) [see tab. 2*].

1.4-cis polybutadiene and ethylene- and propylene-based copolymers (EP and EPDM rubbers), with a world production of 2,200 thousand t/year (economic value around 2 billion dollars) and 950 thousand t/year (economic value of over 1.2 billion dollars) respectively, rank second and third among synthetic rubbers, after elastomers styrene-butadiene [see. tab. 3*].

Cis 1.4 polybutadiene is widely used for manufacturing tyres for heavy vehicles and ethylene- and propylene-based copolymers in the car industry and for the construction of electric cables.

TAB. 1

I principali prodotti chimici in termini di valore economico
Produzione mondiale e valore (dati 2001)

Major chemical products in terms of economic value
Global production and value (2001 data)

Prodotto	Produzione (in migliaia di t)	Valore approssimativo (in milioni di US \$)
Polietilene	52.850	33.470
Polietilentereftalato (1)	29.560	29.560
Ammoniaca	136.000	25.840
Polipropilene (1)	31.600	17.380
Polimeri dello stirene e copolimeri	19.340	17.000
Nylon 6 e Nylon 66 (1)	5.550	16.845
Polimeri del cloruro di vinile e copolimeri	27.100	13.550
Urea	60.325	10.850

(1) per materie plastiche e fibre
(Fonte: Parpinelli TECNON)

(Moplepan ed altri). Viene impiegato nel settore automobilistico (paraurti, altre parti esterne ed interne, cablaggi, celle attrezzate per autoambulanza, ecc.), nei settori dell'imballaggio rigido e flessibile (cassette, contenitori per bibite, prodotti alimentari e medicinali, ecc.), degli elettrodomestici, mobili e oggetti vari per la casa, lo sport, il tempo libero, giocattoli, di bottiglie e manufatti per uso industriale (tubazioni, contenitori vari, parti di macchine, impianti elettrici, ecc.).

Nel campo delle fibre (tessili, cordame, raffia, ecc.) le fibre poliolefiniche (essenzialmente polipropilene), con una produzione a livello mondiale, di circa 6 milioni di t/anno ed un valore di oltre 7 miliardi di dollari, si collocano al terzo posto in termini di valore economico dopo le fibre poliestere (dacron, terital) e poliammidiche (nylon) [v. tab. 2*].

Il polibutadiene 1,4-cis e i copolimeri a base di etilene e propilene (gomme EP e EPDM), con una produzione mondiale, rispettivamente, di 2.200 mila t/anno (valore economico circa 2 miliardi di dollari) e di 950 mila t/anno (valore economico di oltre 1,2 miliardi di dollari) occupano rispettiva-

TAB. 2

Produzione mondiale e valore di fibre sintetiche e artificiali (dati 2001)
Global production and value of synthetic and manmade fibres (2001 data)

Prodotto	Produzione (in migliaia di t)	Valore approssimativo (in milioni di US \$)
Polietilene	52.850	33.470
Poliestere	19.000	20.900
Poliammidiche	3.750	13.875
Poliolefiniche	5.700	7.125
Poliacriliche	2.650	3.445
Cellulosiche	2.700	9.450

(Fonte: Parpinelli TECNON)

According to forecasts, the products which are the fruit of research made by Giulio Natta and his School will continue to be part of ever increasing developments, particularly for applications where other macromolecular products are now used. It is not out of place to also point out the significance of Giulio Natta's works in social-economic terms (availability of new goods) and for the protection of the environment (saving plant resources).

TAB. 3

Produzione mondiale e valore di gomme sintetiche e naturali (dati 2001)
Global production and value of synthetic and natural rubbers (2001 data)

Prodotto	Produzione (in migliaia di t)	Valore approssimativo (in milioni di US \$)
Elastomeri		
stirene-butadiene	4.450	3.785
Polibutadiene 1,4-cis	2.200	1.960
Elastomeri EP e EPDM	950	1.235
Policloroprene	285	855
Gomme nitriliche	450	900
Altre	1.150	2.300
Gomma naturale	7.170	3.585

(Fonte: Parpinelli TECNON)

mente il secondo e il terzo posto tra le gomme sintetiche, dopo gli elastomeri stirene-butadiene [v. tab. 3*].

Il polibutadiene 1,4-cis è largamente utilizzato nella fabbricazione di pneumatici per automezzi pesanti e i copolimeri a base di etilene e propilene nel settore automobilistico e nella costruzione di cavi elettrici.

Le previsioni fanno ritenere che i prodotti frutto delle ricerche di Giulio Natta e della Sua Scuola continueranno ad essere interessati da sempre maggiori sviluppi, in particolare per applicazioni ove vengono utilizzati altri prodotti macromolecolari. Non è fuori luogo, infine, sottolineare l'importanza dell'opera di Giulio Natta anche sul piano socio-economico (disponibilità di nuovi beni) e per la protezione dell'ambiente (risparmio di risorse vegetali).

Emilio Gatti

Giulio Natta nel Politecnico di Milano

Giulio Natta in the Politecnico di Milano

Giulio Natta was a charismatic person who, in my opinion, represents the ideal model of the professor scientist in a polytechnic University.

He was a theoretical and experimental academic of basic science, knew and used the most updated experimental means of analysis of the molecular structure of the matter (at the time, X ray and electron diffraction), and knew the synthetic macromolecules obtained by means of new processes of stereospecific catalysis he conceived.

He was deeply an engineer in knowing the features of the materials appropriate to applications in every field of chemical, mechanical, structural and electrical engineering. He did not limit himself to laboratory synthesis or to the chemical and physical characterization of the macromolecular materials he obtained, but he designed pilot plants and assessed also the patent, legal and economic issues of industrial plants, with the involvement of enlightened industrialists who gave the Politecnico the resources to erect buildings and laboratories provided with the most sophisticated experimental equipment and to have appropriate human resources: professors, researchers, students following doctorate courses ahead of their time. Thus Natta created a permanent cultural environment of scientists that attracted researchers from the world over and produced applied chemical engineers for the Italian and world polymer industry. Results and plants connected to his patents were fundamental for the development of the production and use of new plastic materials provided with previously unimaginable properties.

Giulio Natta è stato una figura carismatica che secondo me rappresenta il modello ideale dello scienziato professore in un'università politecnica. È stato uno studioso teorico e sperimentale delle scienze di base, conoscitore e utilizzatore dei più recenti mezzi sperimentali di analisi della struttura molecolare della materia (al tempo diffrazione di raggi X e di elettroni), conoscitore delle macromolecole sintetiche ottenute con nuovi processi di catalisi stereospecifica da lui ideati.

È stato profondamente ingegnere nel conoscere le caratteristiche dei materiali adatti alle applicazioni in ogni campo dell'ingegneria chimica, meccanica, strutturale, elettrica. Non si è limitato alle sintesi in laboratorio e alla caratterizzazione chimica e fisica dei materiali macromolecolari ottenuti, ma ha progettato impianti pilota e ha valutato per gli impianti industriali e anche gli aspetti brevettuali, legali ed economici coinvolgendo illuminati industriali che hanno dato le risorse al Politecnico per costruire edifici e laboratori muniti delle più moderne attrezzature sperimentali e di disporre di adeguate risorse umane: professori, ricercatori, dottorandi ante litteram.

Natta ha così creato un permanente ambiente culturale di Scienziati che ha attratto ricercatori da tutto il mondo e ha prodotto ingegneri chimici applicati per l'industria dei polimeri italiana e mondiale. I risultati e gli impianti legati ai suoi brevetti sono stati determinanti per lo sviluppo della produzione e dell'impiego di nuovi materiali plastici dotati di proprietà prima impensabili.

Io, elettronico, strumentista per le esperienze di fisica nucleare, non ho avuto l'occasione di lavorare con il grande Maestro Giulio Natta, ma l'ho conosciuto al Politecnico e in vacanza nella sua villa di Champoluc, apparentemente timido ma sempre disponibile al colloquio scientifico, umile nella sua grandezza.

Il collega prof. Allegra mi ha pregato di scrivere queste righe, pensando che, come professore ex decano del Politecnico, potessi scrivere di quanto Natta ha dato al Politecnico.

Io posso solo dire: un irraggiungibile esempio, le sue scoperte e la sua Scuola.

Non oso dire di più perché Natta stesso ha detto tutto, con estrema chiarezza, nella prolusione che ha pronunciato in occasione dell'apertura dell'anno accademico 1957-1958 cdi seguito riportata.

1.
Immagine di Giulio Natta,
prese nel 1963, alla vigilia
del premio Nobel
Photo of Giulio Natta,
taken in 1963, on the eve
of the Nobel Prize



As an electronics engineer and instrumentation expert in nuclear physics, I did not have the chance to work with great Master Giulio Natta, but I knew him at the Politecnico and on holiday in his Champoluc house, apparently timid but always ready for scientific talks, humble in his greatness. My colleague, professor Allegra, asked me to write these lines, considering that, in my capacity of former senior professor at Politecnico, I would write about how much Natta gave to the Politecnico. Natta represented an unreachable example, for his discoveries and his School.

I do not dare say more, because Natta himself said everything, with utter clarity, in the inaugural lecture he made on the occasion of the opening of the 1957-1958 academic year, which follows below.

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

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 uditorio 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 esstrapolazioni. 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 es. esempio la produzione del polietene e del nylon) in cui le unità

**The synthesis of organic macromolecules
with ordered structure, source of new
building materials**
Inaugural lecture by Professor Giulio Natta
A.A. 1957.1958

I had some doubts when accepting the kind invitation of our Rector, Prof. Gino Cassinis, to summarize on this occasion what has been done in this Politecnico in the field of macromolecular chemistry, because I would have rather postponed it to one of future years. And I will immediately say the reason: an audience mainly including engineers and future engineers is, for the most, comprised of highly realistic people, geared to dealing with concrete things, corresponding to physical realities, and for which physical reality is explained by mathematic rules. This is therefore an audience that does not love extrapolations. So, in talking about new discoveries emerging from the scientific laboratories of this School, I would rather do so only when results would be beyond the stage of laboratory research, after the stage currently underway, of the making of pilot plants and the first industrial plants. I would prefer to talk when the new inventions had practically, materially imposed themselves, with the weight of dozens of thousands of tons of products present in the main markets of the whole world. That is, when new products created by the chemist would become largely available for the works of engineers and architects as new building materials. This stage will only be reached by the whole of European, American and Japanese productions (which will apply our principles) in one or two years. Yet our Rector Prof. CASSINIS, and the Dean of our Faculty of Engineering, Prof. DE MARCHI,

wanted to make public, as of now, a case that can be considered as typical, with respect to one of the most important functions carried out by the University, that is of pioneer in the field of science. Scientific progress, especially in chemistry, has always been, one may say, the necessary premise to any great new project. At a time when even authoritative people give a pessimistic view on the appropriateness and functionality of Italian Universities, we feel obliged to state that Institutes of the Politecnico di Milano, both in terms of teaching, but even more in terms of scientific research, fully carry out their task. I do not feel conceited in saying that the work carried out at an Institute of Chemistry of our Politecnico has had the honour of being particularly appreciated and acknowledged in the whole world of chemistry. This is proved by references in foreign journals, visits of the Heads of the most important laboratories of chemical research of European and American industries, the invitation to make our research the theme of the opening speech at the 16th International Congress of Chemistry held in Paris last July, the invitations to hold a series of conferences at Universities and the biggest Institutes of industrial research in the United States of America. This encourages me to tell you about the work that has been made so far at my Institute, so that you know how much the scientific Laboratories of the Faculty of Engineering of our Politecnico

achieve and will be achieving for the progress of science, our industry and our economy. In a country poor in raw materials, such as Italy, the only raw material available at more favourable terms is human minds and hands. But not only minds because in chemistry, limiting yourself to theoretical speculation is not enough, but actual implementation is also necessary, and often after long, tiring, uncertain practical research, for which also experimental manual dexterity is of not minor significance. Besides, to tackle totally new fields, also a certain amount of imagination is necessary, a quality which is often seen as the opposite of the engineer's functions. Today I will talk about the construction of giant molecules, i.e. macromolecules that can be compared to architectural buildings erected by linking thousands or hundreds of thousand or even millions of building parts. The small starting molecules, called monomer units, can be compared with the bricks of a building and each of them is the size of fractions of a millionth millimetre. Here a premise is necessary to point out what was known in the field of large molecules before stereospecific catalysis processes were discovered here, in this Politecnico. It was known that the combining of small asymmetric starting molecules with macromolecules was mostly random and disordered. Until a few years ago, with the exception of few specific cases (e.g. the production of polythene and nylon) where monomer

monomeriche 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, medicamenti.

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; aminoacidi 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 prestabilite.

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 a strati di ioni aventi una particolare struttura reticolare, assorbono 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

units show a high degree of symmetry per se, or a particular multifunctional structure, products with a disordered structure were generally obtained by means of polymerisation, which was the cause of their poor thermal and mechanical properties and made them of limited practical interest. Up to a few years ago, the chemist could only obtain bi-dimensional or three-dimensional macromolecules from such building elements, with irregular structures, or at the most could give the construction a mainly linear form, yet irregular and branched.

Giant molecules with structures corresponding to well defined models are instead largely provided by nature in molecules having fundamental functions in living beings.

Without knowing it, Man was already using macromolecules as food, clothing, building materials in prehistory. And yet, to the chemist, macromolecules were the last to become well known. Only in the last decades have we begun to know their intimate nature and, particularly, their inner architecture.

The first organic substance with low molecular weight obtained by means of synthesis was prepared by Wohler 130 years ago (1828). For over a century, thousands of chemists have demolished and synthesised organic molecules, have created hundreds of thousands of different organic substances, for the most with low molecular weight, substances that the chemist, by means of extraction, crystallisation, distillations, tried to obtain as pure as possible. The theory of tetravalence of carbon explained its nature and made its synthesis foreseeable, and the chemist used it to obtain thousands of more or less simple synthetic products, some of them with practical interest: dyes, solvents, perfumes, drugs.

Going from relatively small to giant natural molecules, the chemist was faced with a too complicated problem. These molecules could not be treated by means of the classi-

cal methods of organic chemistry, they did not melt, they did not crystallise, they did not dissolve without decomposing. The chemist therefore did not know from which side to tackle them to find their intimate molecular structure and features. The means available to the chemist were too crude to isolate every single building element, whose sizes are, in terms of magnitude, much smaller than the limit of microscopic visibility, and to arrange them according to a set order. It only need be considered that one single drop of a monomer contains a magnitude of 10²⁰ simple molecules.

Some macromolecules, such as cellulose, could be modified in their properties by means of chemical treatments, and this gave life to significant branches of chemistry, such as for example a significant class of explosives and plastics, to the industry of man-made textile fibres, rayon, viscose and cellulose acetate.

It was known that some natural giant molecules were made of a regular linking of relatively simple building elements, largely equal among themselves (glucose in the case of cellulose; amino acids in the case of wool, silk and other protein substances; isoprene in the case of natural rubber) but man was not able to reproduce them. This was the degree of knowledge of the chemist in the field of the synthesis of macromolecules until four years ago.

The discovery made in the Institute of Industrial Chemistry of the Politecnico in early 1954, which deeply revolutionized macromolecular chemistry, opening enormous opportunities of practical achievements, is conceptually the following: a process has been devised by means of which, starting from simple non saturated chemical compounds, working in the presence of specific catalysts, large molecules can be obtained characterised by ordered and predefined space structures. We called the catalysts stereospecific, and stereospecific polymerisation the process

which makes it possible to obtain large molecules with an ordered and predefined structure.

From this moment the chemist has been enabled to build macromolecules according to pre-established architectural patterns and with the desired properties.

The first building elements we have used have been the simplest non saturated hydrocarbons.

It has been found that some crystals with ion layers having a specific reticular structure, absorb metallorganic compounds and form on the surface asymmetrical catalyst complexes, having a specific structure and a particular type of coordination, with so called bridge bonds, electron-deficient.

Such complexes act as catalysts in a particular and new type of polymerisation, coordinated anionic polymerisation, for which monomer units only react when they are oriented in a particular way, such as to differentiate equal but enantiomorphous molecules (one is the specular but not overlapping image of the other). In this way, new and different structures have been obtained, according to the type and order of such linking.

Monomer, highly asymmetrical units, can connect in symmetrical structures which often take the shape of spirals. Giant molecules obtained his way, made up of hundreds of thousands of small molecules that have combined into a larger one, possess exceptional properties depending on their inner architecture and the degree of order which can be changed as required within large limits.

From simple hydrocarbons, e.g. from olefins which are the main components of oil cracking gas, (once impossible to use unless as lean fuel) linear molecules can thus be obtained of length from 1,000 to 100,000 times their diameter, having the shape of spiral with ternary symmetry and regular pitch, which can crystallise and produce fibres, having the strength of nylon.

Crystalline structure determines a certain analogy between the beha-

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'estruzione, 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 monomeriche trasforma un polimero cristallino, alto fondente, rigido, che noi abbiamo battezzato isotattico, in una gomma elastica amorfica.

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 si estrae dall'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 meandriforme; 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

viour of metallic materials and macromolecules of a polymer with ordered structure, so that for example rods and foils obtained by extrusion and oriented by stretching after extrusion, increase their resistance to tensile stress up to tensile stresses of 40/60 Kg/mm², (equivalent to those of steel) but have specific weight eight times lower at 0.90 (lower than that of ice). The highest resistances to tensile stress are obtained by extruding yarns of diameter of textile fibres, while transparent foils, with planar crystal orientation, show a resistance to tensile stress equal in the various directions (10-15 Kg/mm²) which is around 1/4 of that observed in the sense of direction of foils, when foils are oriented by stretching in one single direction. A typical feature which justifies the exceptional mechanical properties of linear crystalline macromolecules, compared to other building materials, is given by the fact that they can crystallise, in spherulitic forms, very different from those of minerals and crystalline metals. While in metals, and generally in all substances with low molecular weight, every crystal is made of the repetitions of very small elementary cells, containing a whole number of molecules, new linear polymers form microcrystals, each of which is smaller than the length of any macromolecule. Every macromolecule therefore is part of many different crystals, and links them with each other. In oriented materials (e.g. by stretching), crystals are largely arranged in parallel among themselves and also linear macromolecules are oriented, (e.g. in the sense of stretching), and this gives high resistance to tensile stress and to creep, because very long molecules, associated in parallel in crystals, are very unlikely to creep among themselves. If it were possible to practically solve the problem of obtaining a fibre with a single oriented crystal made of linear macromolecules, we would achieve resistances to tensile stress more than ten times higher than those of steel.

These exceptional mechanical properties are observed in the case of macromolecules with linear regular structures, but the same raw materials, for example polypropylene, can produce products having completely different properties, when monomer units are allowed to combine in a non sterically regular way, i.e. when two units are allowed to take, at random, in the same macromolecule, different shapes, corresponding for example one at the specular image of the other (such as that of the left hand compared to the right). This simple change to the relative orientation of monomer units transforms a crystalline polymer, highly melting, rigid, that we named isotactic, into an amorphous elastic rubber. The most sensational results in stereospecific catalyses have however been obtained in the field of crystallisable elastic rubbers. For over 50 years chemists had tried to obtain synthetic products having the properties of natural rubber, which is secreted by the tree of Hevea Brasiliensis, and which is still today, it can be said, the almost exclusive production of Malaysia.

Already over 70 years ago, chemists had discovered that natural rubber is made of a polymer of isoprene, a very simple diolefinic hydrocarbon (C₅H₈). All the attempts to reproduce elastic rubber had however failed. The chemist is faced with highly reactive molecules (such as diolefins) which can link in various ways and for the same linkage they can orient in different ways, forming an endless number of different products. A macromolecule with molecular weight of 500,000, which is more or less the molecular weight of natural rubber, contains around 8,000 monomer units. If these units were all arranged randomly in the various forms of possible linkages, we could forecast a number of different isomer and stereoisomer structures equal to 4 raised to 8,000 (since there are 4 modes in which each monomer molecule can come in the polymer, provided that

it only links according to the 1-4 and 3-4 modes).

Today, stereospecific catalysis has enabled us to obtain polymers where most monomer units come in the same way and with the same structures. If we take butadiene, a hydrocarbon characterised, as is known, by the presence of 4 carbon atoms, of which carbon atoms 1-2 and 3-4 are combined by a double bond, and we have molecules react among themselves in such a way that the first atom of a molecule reacts with the 4th of the following one, molecules can come in two different ways in forms named cis or trans, according to the relative position of hydrogen and carbon atoms adjacent to a double bond in the chain. If they come in the so called cis form, the result is a regular meander shaped structure; and there are obtained polymers which are elastic rubbers with excellent impact resistance properties, like natural rubber (which is also a 1-4 cis polymer). If they come in a more elongated trans form, the result is a rigid polymer with a higher melting temperature, a plastic material of the kind of natural gutta.

If the molecules of the monomer react through linking by means of 1-2 atoms, there come other polymers, of different kind, and according to the steric configuration, plastics or rubbers are obtained, but with lower impact strength values.

All regular polymers can crystallise, elastic rubbers with regular structure only under stretch (such as natural rubber) and only crystallisable rubbers under stretch, with low melting entropy, can show the paradoxical properties of natural rubber, which shows reversible elastic elongation of 800-900%, which cools, if it is relaxed after being stretched, and which shows an elastic module which grows enormously and reversibly under different stresses.

In our Politecnico we obtained all the four polymers with regular structure that can be expected in butadiene and the first elastic rub-

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 discusso 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 conosciuta 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

ber which shows the exceptional properties of natural rubber. However, I believe that the most promising intermediate products for the production of synthetic elastic rubbers are the saturated linear copolymers of olefins, also conceived here. These provide rubbers characterised by higher impact strength than synthetic rubbers produced in the past, only slightly lower than that of natural rubber, but which are much more resistant to ageing. And starting raw materials are a lot less expensive.

I would like this short presentation to give the clear sensation of the profound revolution under way in the field of macromolecular chemistry, a revolution which was started in this Politecnico, which has opened new wide horizons also in the field of research. Several thousand chemists are now working in the field we have opened, in hundreds of research laboratories scattered all over the world. Just in the last few days I have heard of a large laboratory that the Academy of Sciences in Moscow has decided to open on isotactic polymers (we invented the word isotactic and it is now accepted by everybody).

As I have said, only 4 years have gone from the first stereospecific synthesis made in this Politecnico. Dozens of pilot plants have been built already, and 3 industrial plants for the production of the first isotactic polymer: the first two in Italy and Germany, respectively, using in the latter country the extension of Italian patents. A third plant is under construction in the United States.

Generally speaking, a Researcher is reluctant to make forecasts, and even when the results of his research concern issues involving industrial application, there prevails in him the anxiety of knowing, the satisfaction of finding those laws that nature so tenaciously preserves, and is more prone to enlarge new research fields than to stop to follow the practical development and the previously achieved results. But if I dwell for one single moment to think about the deve-

lopments that these can have in the future, I can definitely maintain that they will play a fundamental role in the technical and economic development, in the field of macromolecular chemistry. Positive results obtained in the industrial production of new polymers with regular structure make it possible to estimate that in two-three years the production in Europe and America will reach many dozens of thousand tons/year, to grow, a few years later, to various hundreds of thousands of tons/year.

Such an increase will be fostered by economic contingencies. The inevitable decrease in costs, which normally accompanies strong production increases, when the low cost of raw materials will allow it, will determine selling prices much lower than those of the crystalline plastic materials known so far and than those of the most common metals (with equal volumes or with equal resistance).

Easy workability of macromolecular crystalline materials, their improved mechanical properties, their greater resistance to creep, their easy workability, the transparency of some products, the perfect impermeableness, their lightness (specific weights lower than 1 in the compact state, but between 0.1-0.01 in the porous state) will make an evolution of the current application imaginable, such as ornamental materials, clothing and packages, towards new uses, such as tubes, also for medium pressures, such as building covers, isolating building elements, etc.

In buildings they can be applied also for structures resistant to high tensile and bending stresses, for ships and cars or for the construction of bridges, for which we can already foresee the creation of greater spans with lower weights compared to those that can be obtained by using metal structures and cables.

Oil and hydrocarbons higher than methane of natural gases are our raw materials for macromolecular organic syntheses. By means of chemical transformation they can

provide, in quantities that can now appear as unlimited, more noble products, which have no property in common, apart from lightness, with the original material. They can allow in the future, when the increase of world population makes it necessary, to devote larger portions of agricultural surfaces to the production of food products, which should however be destined to the production of cellulose, textile fibres, wool and rubber. I must say however that our work was made possible by the financial support that industry, and specifically the company Montecatini, has given us. It was really comforting for us to see that Italian industry features people that are courageous and with a broader view who were ready, unlike government owned companies, to help fundamental research, even when these projects were only ideas, with uncertain success probabilities in the field of industrial implementations.

These men have allocated sums of hundreds of millions per year to contribute to the equipment, to functioning costs of university laboratories, organised on the scale of large research laboratories overseas.

At this initial stage it is possible to judge the sensitivity, the intuition and the flair for a project.

Later, when positive results are obtained, everybody, even overseas declares to be ready to provide great help in order to be given even just a part of the results regarding research carried out. Here I would like to express my gratitude to all those who helped us. As to us, I will simply say that in these four years nothing else existed but our work.

I would like to conclude this short presentation by highlighting a result which in my opinion is no less important than the success of our research, I mean the influence that our work has had on the education of young chemists. Alongside the main research theme, a large number of issues has emerged, which have become

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.

the topic for dissertations for students and for scientific research for young graduates. Results are tangible and can be especially seen in the level reached by young chemical engineers that the Politecnico di Milano makes available to Italian industry, and in the many applications from foreign graduates and teachers, even from North America, to be accepted for a term of specialisation in our Institute. Alongside results in the field of macromolecular chemistry, research in such a wide and fertile field has allowed us to reach another extremely important result: the education of particularly well-trained chemists for experimental research who will become the future's forces of chemical progress. I often think about the tasks that a chemist will have to carry out in future years and especially about our function in training people. Since the possibility to conduct research as in past years has disappeared, when the chemist worked in isolation or with the help of a small number of collaborators on the study of problems that could be tackled even with relatively modest means, chemical research today, in its progress, requires large means and a very high number of collaborators. Research must now be carried out on a scale that is becoming bigger and bigger, a new reaction made by chemists must be studied in all its facets by researchers whose knowledge is clearly different from the knowledge of those who made

the first chemical reaction in the Lab. It thus becomes necessary for example that together with the organic chemist there are available chemists specialised in the various fields of chemical-physical investigation, in structural determinations and in the determination of all those properties that will make it possible to characterise the newly realised compound and to establish its field of application. Besides, it is necessary to determine all thermodynamic, kinetic, technological data which are needed by the engineer so that the seed born in the research laboratory becomes a large tree capable of giving abundant fruit. That is why, in conducting our work, it was necessary to train a large team of specialised chemists and engineers who worked with passion, knowledge and dedication to our research. The first group of Researchers at our Institute catalysed a chain reaction which has led to the creation of a «macromolecular» aggregate made of many «monomer units» ordered by chemical researchers. And with a process of chain transfer, other groups of «Chemical Researchers» are being formed in Italy, and we hope they reach very high «degrees of polymerisation». This will be the day when we can allow ourselves some rest because we will see behind us a group of chemists that will receive our legacy and on whom Italian School and Industry can base themselves, certain to avail themselves of an

activity that will allow them to take the place that, because of the work of its people and the scientific level achieved, they deserve to take in the world.

Giuseppe Natta

La vita in famiglia Life at home

It was November 5th, 1963 when the press commu-
nicated that the Nobel Prize for Chemistry had
been attributed to Professors Giulio Natta and Karl
Ziegler for their discoveries in the field of poly-
mers.

The official Announcement from the Swedish Royal
Academy of Sciences came, sudden yet not unex-
pected, when my parents were in Sanremo, for a
short holiday. Professor Natta used to go to
Sanremo since it was close to Ceriana, the town
where he had spent his childhood and where there
is still the tree he loved the most: one of the oldest
chestnut trees in the Maritime Alps, almost one and
a half thousand years old.

His assistants came to Sanremo: ours was, so to say,
an enlarged family. There were myself, my sister
Franca, my mum, my dad and, around us, always
unexpected people but, so I like to say, statistically
estimated: assistants, my father's colleagues and
guests, who came nearly always solely for work. At
home there was always much movement, maybe
also a seeming chaos, in which however my father
worked quietly. Mum entertained relationships
with every one with a sensitivity that no public
relationship office can have. And her presence was
fundamental to my father. And to all of us.

Dad knew how to concentrate also in the midst of
the most outstanding chaos. I remember for exam-
ple our holidays in Champoluc, in the large 'house
of grandmas': dad wrote, read, corrected while the
children – myself, my sister, my cousin Nicoletta
and a crowd of friends – played and made an incre-
dible noisy confusion. However, this confusion did

Era il 5 novembre 1963 quando la stampa rese noto
che il Premio Nobel per la Chimica era stato attri-
buito ai Professori Giulio Natta e Karl Ziegler per le
loro scoperte nel campo dei polimeri.

L'Annuncio ufficiale dall'Accademia Reale Svedese
delle Scienze arrivò, improvviso ma non inaspetta-
to, quando i miei genitori si trovavano a Sanremo,
per una breve vacanza. Il Professor Natta andava a
Sanremo per la vicinanza con Ceriana, il paese dove
aveva trascorso l'infanzia e dove tuttora c'è il più
amato dei suoi alberi: uno dei più vecchi castagni
delle Alpi Marittime di quasi millecinquecento
anni.

A Sanremo arrivarono i suoi assistenti: la nostra
infatti era, per così dire, una famiglia allargata.
C'eravamo io, mia sorella Franca, mia mamma, mio
papà e, intorno, sempre gente inattesa, ma, così mi
piace dire, statisticamente prevista: gli assistenti,
appunto, i colleghi di mio padre e gli ospiti, da noi
quasi sempre per lavoro. C'era sempre un gran
movimento in casa, forse anche un apparente caos,
in cui però mio padre sapeva lavorare tranquillo. La
mamma teneva i rapporti con tutti con quella sen-
sibilità che non può avere nessun ufficio di pubbli-
che relazioni. E la sua presenza era fondamentale
per mio padre. E per tutti noi.

Papà sapeva concentrarsi anche in mezzo alla
bagarre più totale. Ricordo ad esempio le vacanze a
Champoluc, nella grande 'casa delle nonne': papà
scriveva, leggeva, correggeva mentre noi bambini –
io, mia sorella, mia cugina Nicoletta e un mare di
amici – giocavamo creando una incredibile confu-
sione rumorosa. Confusione che però a mio padre
non creava disturbo, forse anche gli faceva piacere.
Certo il suo pensiero correva indisturbato, mentre
noi piccoli scivolavamo lungo la ringhiera di legno
della scala, precipitandogli vicino.

Mio padre era nato a Porto Maurizio, oggi parte
della città di Imperia, ma la famiglia si era trasferita
presto a Genova, seguendo nella nuova sede mio
nonno Francesco Maria, magistrato. Papà fu il
primo della famiglia a dedicarsi all'ingegneria chi-
mica, scelta al posto della giurisprudenza, fino ad
allora tradizione di famiglia. Assomigliava a suo
nonno, inventore, che aveva ideato un modo per
spremere bachi da seta e farne filo per la pesca, che
era andato a vendere in tutta Europa.

Universitario a diciassette anni, si laureò al
Politecnico di Milano a 21 anni e divenne assistente
all'Istituto di Chimica Generale. Nel 1932 una
borsa di studio della Fondazione Volta lo portò a

1.
Con la moglie Rosita
e con il figlio Giuseppe
With his wife Rosita
and his son Giuseppe



not disturb my father, maybe even pleased him.
Definitely his thoughts ran undisturbed, while we
children came sliding down the banisters of the
stairs, falling close to him.

My father was born in Porto S. Maurizio, today dis-
trict of the town of Imperia, but his family soon
moved to Genoa, following in his new office my
grandfather Francesco Maria, judge. Dad was the
first in the family to dedicate his life to chemical
engineering, which he chose instead of law, up to
that moment a family tradition. He looked like his
grandfather, inventor, who had devised a way of
squeezing silkworms to make fishing lines, which
he had sold all over Europe.

He went to University when he was seventeen, gra-
duated from Politecnico di Milano at 21 and beca-
me assistant at the Institute for General Chemistry.
In 1932 a scholarship from the Volta Foundation
made him specialise in Freiburg in the technique of
electron diffraction for the study of the structure of
chemical compounds. In Freiburg he met the
woman who was to share her life with him, my
mother, who was finishing her dissertation in
German literature in Germany.

Everything that followed came at once. On his 1954

2.
Alcuni collaboratori di Natta
in gita durante un weekend
Some collaborators of Natta's
during a weekend trip



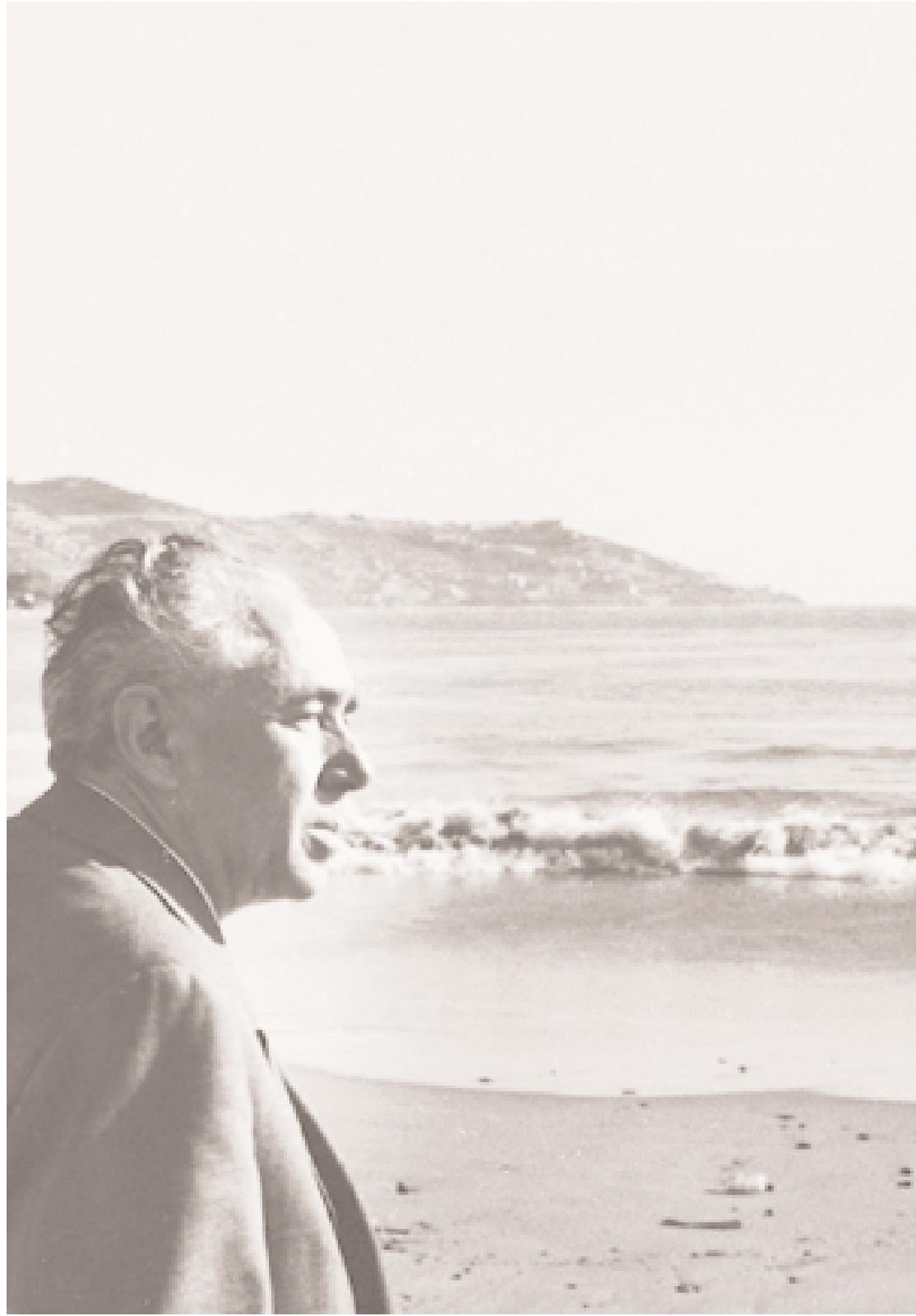
specializzarsi a Friburgo nella tecnica della diffrac-
zione di elettroni per lo studio della struttura di
composti chimici. A Friburgo incontrò la donna
che poi dividerà con lui la vita, mia mamma, che
stava ultimando in Germania la tesi in letteratura
tedesca.

Tutto quello che seguì avvenne insieme.

Sulla sua agenda del 1954, era giovedì 11 Marzo,
San Eraclio, quando mio padre scrisse: «Fatto il
polipropilene»; e mercoledì 12 Maggio, San
Pancrazio, seguì un'altra frase, brevissima: «Filato il
polipropilene».

Era iniziata l'era moderna dei polimeri stereoregolari.
Alla cerimonia di consegna del Nobel, il 10 dicem-
bre 1963 a Stoccolma, diedi il braccio a mio padre,
ormai affaticato e purtroppo già debilitato dalla
malattia che l'aveva colpito. Ricordo che il re di
Svezia, Gustav VI Adolf, scese dal palco per rispar-
miargli la fatica delle scale.

Ai giornalisti che gli chiedevano di rilasciare dichia-
razioni, mio padre rispose così: «Ho avuto una
grande fortuna, di laurearmi in ingegneria chimica,
unendo la vocazione del chimico puro alla mentali-
tà pratica dell'ingegnere. Seconda fortuna, sono
entrato subito in università. Non per la cattedra,



3.

Sanremo:
davanti al "suo" mare
Sanremo:
in front of "his" sea

diary, it was Thursday March 11th, Saint Heraclius, my father wrote: «Made polypropylene»; and Wednesday May 12th, Saint Pancras, another sentence followed, very short: «Spun polypropylene». The modern age of stereoregular polymers had started.

At the Nobel ceremony, on December 10th, 1963 in Stockholm, I proffered my arm for my father to hold on to, now tired and unfortunately already affected by the disease that had struck him. I remember that the king of Sweden, Gustav VI Adolf, came down from the stage to spare him the fatigue of climbing the stairs.

To the journalists who asked him to make some statements, my father answered the following: «I have been very lucky, in graduating in chemical engineering, joining the vocation of pure chemist with the practical attitude of the engineer. Second piece of luck, I immediately entered university. Not for my career, but because only this way was it possible to have a laboratory. Third, in those years, autarchy led to search for new materials, many then left this research field, but I was interested in that and carried on. Fourth, I have always tried to work together with industrial companies. Companies pose practical problems. The key is to investigate them with a scientific method. If this is the case, the result is always positive».

He wanted to give his students and collaborators a medal, to share his Nobel Prize with them. My mother chose the image to put on it: the School of Athens. To leave the rule that had been at the base of their life, according to which commitment is teaching.

ma perché solo così era possibile avere un laboratorio. Terzo, in quegli anni l'autarchia spingeva a cercare nuove materie, molti lasciarono poi questa ricerca, ma a me interessava e andai avanti.

Quarto, ho sempre cercato di lavorare accanto alle industrie. Le industrie pongono problemi pratici.

Il segreto è indagarli con metodo scientifico.

Se ciò avviene il risultato è sempre positivo».

Volle regalare ai suoi allievi e collaboratori una medaglia, per condividere con loro il Nobel. Mia madre scelse l'immagine da incidere: la Scuola di Atene. Per lasciare la regola che era stata alla base della loro vita, secondo cui l'impegno consiste nell'insegnare e nell'apprendere.

Sergio Auricchio

Giulio Natta e la Chimica oggi: incontro tra Università, Industria e Scuole Medie Superiori

Giulio Natta and Chemistry today: meeting between University, Industry and High Schools

In early 2003 a Committee was set up to promote events to celebrate the Centennial of Giulio Natta's birth. The Committee includes the Società Chimica Italiana (Italian Chemical Society), major industrial Associations in the field (Federchimica, Assolombarda, Associazione Italiana Commercio Chimico – Italian Association for Chemical Trade), Milan Universities (Politecnico di Milano, Università degli Studi di Milano, Università degli Studi di Milano Bicocca), the Ufficio Scolastico per la Lombardia (School Department for Lombardy) and the Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere (Lombardy Institute Academy of Sciences and Literature).

The committee, among the many academic-scientific events it promoted, also organised a meeting with High Schools.

The objective of this event is to remind young adults of the personality and the works of Giulio Natta also to highlight the role of Chemistry for the innovation, progress and quality of life. Among the goals of the commission there is also that of submitting and implementing initiatives to raise young people's interest for chemical subjects.

A decreasing number of students have registered in courses dealing with chemical subjects in Italian Universities over the last few years, causing concern.

The lack of preference in youngsters for chemical

Agli inizi del 2003 è stato costituito un Comitato per promuovere iniziative volte a celebrare il Centenario della nascita di Giulio Natta. Il Comitato è costituito dalla Società Chimica Italiana, dalle principali Associazioni imprenditoriali del settore (Federchimica, Assolombarda, Associazione Italiana Commercio Chimico), dalle Università milanesi (Politecnico di Milano, Università degli Studi di Milano, Università degli Studi di Milano Bicocca), dall'Ufficio Scolastico per la Lombardia e dall'Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere.

Il Comitato, tra le tante manifestazioni promosse di natura accademico-scientifica, ha anche organizzato un incontro con le Scuole Medie Superiori.

L'obiettivo di questa manifestazione è quello di ricordare ai giovani la figura e le opere di Giulio Natta per evidenziare anche il ruolo della Chimica per l'innovazione, il progresso e la qualità della vita. Tra gli scopi della commissione vi è anche quello di proporre e attuare iniziative volte a risvegliare l'interesse dei giovani per le discipline chimiche.

Il numero di allievi iscritti ai corsi di studio riguardanti discipline chimiche nelle Università italiane, nel corso di questi ultimi anni, si è ridotto in modo preoccupante.

La disaffezione dei giovani per le discipline chimiche, in Italia, ha molteplici origini e comunque non è strettamente legata al rapporto tra domanda e offerta di lavoro nel settore.

Uno dei fattori che inibiscono lo sviluppo di un interesse per le discipline chimiche da parte dei giovani è l'immagine che si ha della Chimica nel mondo di oggi.

La percezione che la "Qualità della vita", di cui oggi godiamo, è strettamente legata alla Chimica e al suo sviluppo è totalmente assente nell'immaginario collettivo; anzi, paradossalmente la Chimica viene percepita come un nemico per il benessere dell'Uomo e più in generale per l'ambiente.

Un altro dei fattori che certamente non contribuiscono ad avvicinare i giovani alle discipline chimiche è la modalità di insegnamento della Chimica nelle scuole italiane.

Non dico nulla di nuovo se affermo che la cultura chimica, nella scuola italiana, è più penalizzata delle altre discipline scientifiche. La Chimica pur essendo una "scienza centrale", permeando di sé tutte le altre branche della scienza, ha nella scuola un peso molto modesto sia in termini quantitativi sia in termini qualitativi. Inoltre, quando viene insegnata, la

subjects in Italy, has many causes, and however is not strictly connected to the relationship between job demand and supply in the industry.

One of the factors that inhibit the development of interest for chemical subjects in young adults is the image of Chemistry in today's world.

The perception that the "Quality of life", which we enjoy today, is strictly connected to Chemistry and its development is totally absent in general thinking; rather, paradoxically Chemistry is perceived as an enemy for Human well-being and more in general for the environment.

Another of the factors that certainly do not contribute to bring youngsters close to chemical subjects is the way of teaching chemistry in Italian schools.

I am not saying anything new when I maintain that chemical culture, in Italian schools, is more marginalized than other scientific subjects. Chemistry, though being a "major science", since it permeates all the other branches of science, has very low weight in school, both in terms of quantity and quality. Besides, when it is taught, Chemistry suffers, more than other subjects, from a way of teaching that pushes teachers to flood pupils with a large number of information, mimicking a university course, but with the risk of belittling and demeaning it up to making it a simple dogma.

The result is that at the end of high school, most pupils perceive Chemistry as a difficult, incomprehensible subject, which is certainly without logic and, in any case, "enemy" of the world around us. Giulio Natta's discoveries and their impact on today's life are a brilliant example of how Chemistry positively affects the "quality of life". The 100th anniversary of Natta's birth represents an excellent occasion for a debate on these issues with the participation of school, university and industry.

It therefore seemed appropriate to organise a meeting between high school students and teachers and experts from the academic and industrial world on the issue: "The impact of chemistry and new materials on the quality of life".

The meeting with students from the schools participating in the event will be carried out by means of videoconference connection with suitably equipped schools and via Internet with all the others, giving the opportunity to all students to actively participate in the discussion.

Besides, to spur youngsters to increase their knowledge on the issues that will be discussed during the event, a competition has been organised on the

Chimica soffre, più di altre discipline, di una modalità di insegnamento che spinge i docenti a riversare sugli allievi un grande numero di informazioni, mimando un corso universitario, ma rischiando di ridurlo e banalizzarlo sino a renderlo dogmatico.

Il risultato è che alla fine della Scuola Media Superiore, la maggior parte degli studenti percepisce la Chimica come una materia difficile, incomprensibile, certamente priva di logica e comunque "nemica" del mondo che ci circonda.

Le scoperte di Giulio Natta e il loro impatto sulla vita di oggi sono un brillante esempio di come la Chimica influenza in modo positivo la "qualità della vita". Il centenario della nascita di Natta rappresenta un'eccellente occasione per un dibattito su questi temi che coinvolga scuola, università e industria.

Dunque, è sembrato opportuno organizzare un incontro tra studenti, docenti delle scuole medie superiori ed esperti del mondo accademico e industriale sul tema: "L'impatto della chimica e dei nuovi materiali sulla qualità della vita".

L'incontro con gli studenti delle scuole aderenti alla manifestazione sarà realizzato tramite un collegamento in videoconferenza con le scuole adeguatamente attrezzate e via Internet con tutte le altre, permettendo comunque a tutti gli studenti di potere intervenire attivamente al dibattito.

Inoltre, per stimolare i giovani ad approfondire le loro conoscenze sugli argomenti che verranno dibattuti durante la manifestazione, si è voluto bandire un concorso sui temi:

- Giulio Natta e le ricadute delle sue scoperte sulla vita di oggi

- La Chimica e la qualità della vita

- La Chimica all'interno delle nuove tecnologie

I tre premi sono stati offerti da: Federchimica, Assolombarda e Associazione Italiana Commercio Chimico.

L'invito a partecipare alla manifestazione e al concorso è stato fatto a tutte le Scuole Medie Superiori italiane. Sono pervenute adesioni da tutte le regioni. Invece la distribuzione delle adesioni tra le varie tipologie di scuole medie superiori è stata disomogenea:

- ITIS	60%
- Liceo scientifico	35%
- Altri	5%

Anche se i dati sono parziali (si riferiscono all'inizio di Agosto), sorprende l'assenza dei licei classici.

following issues:

- Giulio Natta and the consequences of his discoveries on today's life
- Chemistry and the quality of life
- Chemistry within new technologies

The three prizes have been offered by:

Federchimica, Assolombarda and Associazione Italiana Commercio Chimico.

The invitation to take part in the event and competition was sent to all Italian High Schools.

Acceptance letters have come from all regions. The breakdown of adhesions among the various types of high schools was uneven:

- Technical High Schools	60%
- Scientific High Schools (liceo scientifico)	35%
- Others	5%

Though these figures are not final (they refer to August), the absence of Grammar Schools (licei classici) is surprising.

Is it possible that schools believed that to make the composition students were supposed to have a scientific and particularly chemical background higher than that normally given at a grammar school?

The issues can be dealt with from a viewpoint typically of "general culture".

One example of how Natta's discoveries have deeply affected today's world is shown by Ryszard Kapuscinski in "Ebano" published by Feltrinelli, Milan, March 2002.

"In tropical regions existence is based on water.

Without pipes and with water in short supply everywhere, it is necessary to transport it for long distances, sometimes for various dozens of kilometres. For centuries, heavy clay or stone jars have been used to this goal. African culture were unaware of transportation on wheels, humans carry everything alone, mainly on their heads. Water jugs were carried by women, it was their task in the sharing of housework. Besides the fact that a child would not be able to lift them, in that world of poverty there was only one jug per household. And then came the plastic tank. Miracle! Revolution! First of all, it is relatively cheap (though in some houses this is the only valuable object): it costs around two dollars. But the essential fact is that it is light. Besides, they come in all sizes, therefore even a little child can bring a few litres home. Now all children carry water. And we continuously see hopping crowds who, playing and fighting, go get water

È possibile che le scuole abbiano ritenuto che per svolgere il tema i giovani avrebbero dovuto possedere una cultura scientifica e in particolare chimica superiore a quella normalmente impartita in un liceo classico?

I temi potevano essere affrontati da un punto di vista squisitamente di "cultura generale".

Un esempio di come le scoperte di Natta abbiano profondamente influenzato il mondo di oggi è riportato da Ryszard Kapuscinski in "Ebano" edito da Feltrinelli, Milano, marzo 2002.

"Ai tropici l'esistenza è condizionata dall'acqua. In mancanza di tubazioni e con l'acqua che scarseggia ovunque, bisogna trasportarla per lunghe distanze, talvolta per varie decine di chilometri. Per secoli a questo scopo si sono usate pesanti brocche di argilla o di pietra. La cultura africana ignora il trasporto su ruote, l'uomo trasporta tutto da solo, perlopiù sulla testa. Le brocche d'acqua venivano portate dalle donne, era un loro incarico nella suddivisione del lavoro domestico. A parte il fatto che un bambino non sarebbe riuscito a sollevarla, in quel mondo di poveri c'era una sola brocca per casa. Ed ecco arrivare la tanica di plastica. Miracolo! Rivoluzione! Prima di tutto è relativamente economica (per quanto in certe case sia l'unico oggetto di valore): costa circa due dollari. Ma l'essenziale è la sua leggerezza. Inoltre ce ne sono di tutte le misure, per cui anche un bimbo piccolo può portare a casa qualche litro. Adesso tutti i bambini portano l'acqua. E infatti vediamo continuamente torce saltabecchanti che, giocando e bisticciando, vanno a prendere l'acqua a una fonte lontana. Che sollievo per la donna africana oberata di lavoro al di sopra delle sue forze."

Questo esempio (cultura generale) avrebbe potuto essere utilizzato in uno qualunque dei tre argomenti proposti che in realtà, nelle nostre intenzioni, avrebbero dovuto essere tre sfaccettature dello stesso tema.

A questo proposito, ci ha molto sorpreso che tra gli elaborati ricevuti, per la partecipazione al concorso, non ve ne fosse alcuno che facesse riferimento all'argomento "La Chimica all'interno delle nuove tecnologie". La tipologia dei temi ricevuti si è equamente distribuita tra gli altri due argomenti.

"Giulio Natta e le ricadute delle sue scoperte sulla vita di oggi"

Molti lavori inviati su questo argomento hanno trattato molto bene la prima parte del tema, ossia

from a distant well. What a relief for the African woman burdened with work beyond her forces."

This example (general culture) might have been used in any of the three themes submitted which, actually, in our intentions, should have been three facets of the same theme.

With respect to this, we were very surprised by the fact that among the compositions received to take part in the competition, none of them made reference to the issue "Chemistry within new technologies". Compositions we received were equally shared among the two other issues.

"Giulio Natta and the consequences of his discoveries on today's life"

Many compositions sent on this issue examined very well the first part of the theme, i.e. the life of Natta and the discovery of isotactic polypropylene, while they were poor or briefly developed the second part, i.e. how plastic changed the world around us.

"Chemistry and the quality of life"

In this case, apart a few compositions that have hit the issue and examined it in a very wide context, many others have dealt with the issue from a specific point of view, and only examined specific cases. Very often confusion was present between "quality of life" and "environment". Besides, talking of "environment" it seems that, in some cases, there is not a clear difference between "environmental chemistry" and "analytical environmental chemistry".

After a careful examination of compositions, we believe one question to think about should be: "If and where there are shortcomings, is this a lack of chemical culture, of scientific culture or more simply of general culture?"

This could be one of the issues to examine during the meeting with the students.

1. Gino Bramieri è il protagonista dello spot pubblicitario realizzato dall'Agenzia TTC per la Montesud, nei primi anni '60. Gino Bramieri was the main character in the commercial made by TTC Agency for Montesud in the early 1960's



la figura di Natta e la scoperta del polipropilene isotattico, mentre sono stati carenti o hanno sviluppato sommariamente la seconda parte, ossia come la plastica ha cambiato il mondo che ci circonda.

"La Chimica e la qualità della vita"

In questo caso, tranne alcuni elaborati che hanno centrato il tema affrontandolo in un contesto molto ampio, molti altri hanno trattato l'argomento in modo settoriale, limitandosi a trattare casi specifici. Molto spesso è stata fatta confusione tra "qualità della vita" e "ambiente". Inoltre parlando di "ambiente" sembra che, in qualche caso, non sia chiara la differenza tra "chimica ambientale" e "chimica analitica ambientale".

Dopo un accurato esame degli elaborati, ci è sembrato che un interrogativo, sul quale riflettere, debba essere:

"Se e dove ci sono carenze, si tratta di carenza di cultura chimica, di cultura scientifica o più semplicemente di cultura generale?"

Questo potrebbe essere uno degli argomenti da trattare durante l'incontro con gli studenti.

Eventi e manifestazioni

▼
12-13 Marzo 2003
Roma

Convegno nel Centenario
della nascita di Giulio
Natta

Accademia Nazionale
dei Lincei
Fondazione "Guido
Donegani"

▼
08-12 Giugno 2003
Milano

EUPOC 2003
European Polymer
conference
Stereospecific polymeriza-
tion and stereoregular
polymers

In onore a Giulio Natta in
occasione del suo
Centenario

▼
22-27 Giugno 2003
Torino

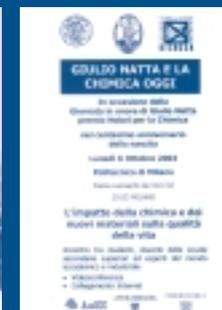
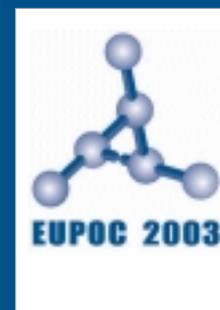
SCI 2003

Sotto l'alto patronato del
Presidente della
Repubblica Italiana

▼
6 Ottobre 2003
Politecnico di Milano

Giulio Natta e la Chimica
oggi

L'impatto della chimica e
dei nuovi materiali sulla
qualità della vita, incontro
con docenti delle scuole
secondarie superiori ed
esperti del mondo acca-
demico e industriale



The Nobel Prize in Chemistry 1963

Presentation Speech
by Professor A. Fredga,
Member of the Nobel Committee
for Chemistry of
the Royal Academy
of Sciences

Your Majesties, Royal Highnesses, Ladies and Gentlemen.

Our epoch has witnessed the gradual replacement of traditional materials by synthetic ones. We have all seen that plastics can often substitute glass, porcelain, wood, metals, bones, and horn, the substitutes being frequently lighter, less fragile, and easier to shape and work. It has in fact been said that we live in the Age of Plastics.

Plastics consist of very large molecules or macromolecules often forming long chains of thousands of atoms. They are made by joining together normal size molecules must be reactive, but some outside help is also necessary to make them combine. This outside assistance often used to be supplied by free radicals, added to trigger off the reaction of polymerization. The term "free radical" may conjure up political connotations, and indeed free radicals have much in common with revolutionaries: they are full of energy, difficult to control, and have an unpredictable outcome. Thus, free-radical reactions give polymer chains with branches and other anomalies.

However, Professor Ziegler has found entirely new methods of polymerization. Studying organometallic compounds, he discovered that organoaluminium compounds, which are easy to prepare, are particularly suitable for work on the industrial scale. Peculiar electrical forces operate around an aluminium-carbon bond in a hydrocarbon chain: reactive molecules are drawn in and sandwiched between the carbon atom and the aluminium atom, thus increasing the length of the chain. All this happens much more quietly than in free-radical reactions. When the chain is long enough, we detach the aluminium and thus stop further growth of the molecule. The combination of aluminium compounds with other metallic compounds gives

Ziegler catalysts. These can be used to control polymerizations and to obtain molecular chains of the required length.

However, many systematic experiments - and indeed some accidental findings - were necessary to reach this stage. Ziegler catalysts, now widely used, have simplified and rationalized polymerization processes, and have given us new and better synthetic materials.

The individual molecules strung together to form polymers are often so built that the resulting chain exhibits small side groups or side-chains at certain points, generally one at every other carbon atom. But the picture is more complicated, since these side groups can be oriented either to the left or to the right. When their orientations are randomly distributed, the chain has a spatially irregular configuration.

However, Professor Natta has found that certain types of Ziegler catalysts lead to stereoregular macromolecules, i.e. macromolecules with a spatially uniform structure. In such chains, all the side groups point to the right or to the left, these chains being called isotactic. How is this achieved when the microstructure of the catalyst is probably highly irregular? The secret is that the molecular environment of the metal atom, at which new units are stuck on to the chain as mentioned before, is so shaped that it permits only a definite orientation of the side groups. Isotactic polymers show very interesting characteristics. Thus, while ordinary hydrocarbon chains are zigzag-shaped, isotactic chains form helices with the side groups pointing outwards. Such polymers give rise to novel synthetic products such as fabrics which are light and strong at the same time, and ropes which float on the water, to mention only two examples.

Nature synthesizes many stereoregular polymers, for example cellulose and rubber. This ability as so far been thought to be a monopoly of Nature operating with biocatalysts known as enzymes. But now Professor Natta has broken this monopoly. Towards the end of his life, Alfred Nobel was thinking of the manufacture of artificial rubber. Since then, many rubber-like materials have been produced, but only the use of Ziegler catalysts enables us to synthesize a substance that is identical with natural rubber.

Professor Ziegler, your excellent work on organometallic compounds has unexpectedly led to new polymerization reactions and thus paved the way

1.
La cerimonia a Stoccolma
(10 Dicembre 1963)
The ceremony in Stockholm
(10th December, 1963)



for new and highly useful industrial processes. In recognition of your services to Science and Technology, the Royal Academy of Sciences has decided to award you the Nobel Prize. It is my pleasure to convey to you the best wishes of the Academy.

Professor Natta, you have succeeded in preparing by a new method macro molecules having a spatially regular structure. The scientific and technical consequences of your discovery are immense and can not even now be fully estimated. The Swedish Royal Academy of Sciences wishes to express its

appreciation by awarding you the Nobel Prize. Please accept the best wishes of the Academy. I would also like to express the admiration of the academy for the intensity with which you are continuing your work in the face of difficulties.

Professor Ziegler. In the name of the Academy, I now ask you to accept the Nobel Prize from His Majesty the King.

Professor Natta. In the name of the Academy, I now ask you to accept the Nobel Prize from His Majesty the King.

From Nobel Lectures, Chemistry 1963-1970.

Cronologia essenziale della vita di Giulio Natta

1903, 26 febbraio

Giulio Natta nasce a Porto Maurizio, all'epoca in provincia di Imperia, oggi parte integrante della città

1923

primo lavoro scientifico, Sulla stabilità delle soluzioni dei cloriti alcalini (prima dei suoi 610 lavori scientifici o didattici), pubblicato su la "Gazzetta Chimica Italiana" scritto in collaborazione con Giorgio Renato Levi

1924

Natta consegue la Laurea in Ingegneria Chimica al Politecnico di Milano e diventa subito assistente presso l'Istituto di Chimica generale, diretto dal Professor Giuseppe Bruni

1925-1933

insegna Chimica analitica al Politecnico di Milano (dove consegue nel 1927 la libera docenza in Chimica generale) e Chimica fisica all'Università degli Studi di Milano

1927

primo brevetto industriale (dei 316 depositati fino al 1969) su un Procedimento di preparazione sintetica di idrocarburi liquidi

1930

lavori scientifici sulla sintesi del metanolo e degli alcoli superiori, prima notorietà internazionale

1933

vince la cattedra di Chimica generale all'Università degli Studi di Pavia

1934

primi lavori sugli alti polimeri dopo un periodo di lavoro con Hermann Staudinger, Nobel per la Chimica nel '53

1935-1937

diviene Professore Ordinario di Chimica fisica all'Università di Roma

1937-1938

diviene Professore Ordinario di Chimica Industriale al Politecnico di Torino

1938

ritorna a insegnare al Politecnico di Milano per ricoprire la cattedra di Chimica industriale (che lascerà soltanto nel 1973) e per dirigere l'Istituto di Chimica industriale; si dedica a ricerche per la produzione della gomma sintetica

1952

primo incontro con Karl Ziegler ad una conferenza a Francoforte; Natta lo invita a tener una conferenza al Politecnico di Milano e convince la Montecatini a stipulare un contratto con Ziegler per disporre dei risultati passati e futuri delle sue ricerche sui composti metallorganici e sui loro impieghi

1953

Ziegler brevetta la polimerizzazione dell'etilene ad alti polimeri a bassa pressione e in presenza di catalizzatori

1954, 11 marzo

Natta ottiene in laboratorio il polipropilene

1955

con un gruppo di assistenti universitari e ricercatori della Montecatini dà vita alla Scuola di Chimica macromolecolare, nota come Scuola di Natta, alla quale si formeranno oltre 200 studiosi

1963, 10 dicembre

riceve a Stoccolma il Premio Nobel per la Chimica, condiviso con il tedesco Karl Ziegler

2 maggio 1979

Giulio Natta muore nella sua casa sulla collina di Bergamo

Milestones in the life of Giulio Natta

1903, 26th February

Giulio Natta was born in Porto Maurizio, at the time in the province of Imperia, today part of the city

1923

first scientific publication, On the stability of solutions of alkaline chlorites (the first of his 610 scientific or didactic publications), published in "Gazzetta Chimica Italiana" written with Giorgio Renato Levi

1924

Natta graduated in Chemical Engineering from the Politecnico di Milano and soon became assistant at the Institute of General Chemistry, headed by Professor Giuseppe Bruni

1925-1933

He taught Analytical Chemistry at the Politecnico di Milano (where he became in 1927 free Professor in General Chemistry) and Physical Chemistry at Milan University

1927

first industrial patent (of the 316 he filed up to 1969) for a Procedure for the synthetic preparation of liquid hydrocarbons

1930

Scientific publications on the synthesis of methanol and superior alcohols, first international renown

1933

He became professor of General Chemistry at Pavia University

1934

First publications on high polymers after working with Hermann Staudinger, Nobel Prize Laureate for Chemistry in 1953

1935-1937

He became Regular Professor of Physical Chemistry at Rome University

1937-1938

He became Regular Professor of Industrial Chemistry at the Politecnico di Torino

1938

Returned to teaching at the Politecnico di Milano to be professor of Industrial Chemistry (a position he only left in 1973) and to head the Institute of Industrial Chemistry; he carried out research for the production of synthetic rubber

1952

First meeting with Karl Ziegler at a conference in Frankfurt; Natta invited him to hold a conference at the Politecnico di Milano and convinced Montecatini to stipulate an agreement with Ziegler to receive past and future results of his research studies on metallorganic compounds and their uses

1953

Ziegler patented the polymerization of ethylene to low-pressure high polymers and with the presence of catalysts

1954, 11th March

Natta obtained polypropylene in the laboratory

1955

With a group of university assistants and Montecatini researchers he established the School of macromolecular chemistry, known as the Natta School, which was to educate over 200 academics

1963, 10th December

At Stockholm, he received the Nobel Prize for Chemistry, with German Karl Ziegler

2nd May 1979

Giulio Natta died in his home on the hills of Bergamo

Onorificenze e Riconoscimenti conferiti a Giulio Natta

Accademie italiane

- _Socio nazionale dell'Accademia nazionale dei Lincei
- _Membro effettivo dell'Istituto Lombardo
- _Accademia di scienze e lettere
- _Socio dell'Accademia delle Scienze di Torino
- _Membro dell'Istituto veneto di scienze, lettere ed arti

Accademie ed associazioni scientifiche straniere

- _Membro onorario a vita della New York Academy of Sciences (1960)
- _Membro onorario della Società chimica belga (medaglia d'oro Stas, 1962)
- _Membro onorario della Società chimica austriaca
- _Membro onorario della Società chimica svizzera
- _Membro onorario della Società chimico-fisica francese (medaglia d'oro Perrin, 1963)
- _Membro onorario della Società chimica di Francia (medaglia d'oro Lavoisier, 1963)
- _Membro onorario della Académie des Sciences de l'Institut de France (1964)
- _Membro onorario dell'Accademia internazionale di astronautica di Parigi (1965)
- _Membro onorario dell'Accademia delle Scienze di Mosca (1966)
- _Membro onorario della Société de chimie industrielle di Parigi (1966)

Lauree honoris causa

- _Università di Torino (1962)
- _Naturwissenschaftlichen Facultät della Johannes Gutenberg Universität di Magonza, Germania (1963)
- _Politecnico di Brooklyn, New York (1964)
- _Università di Genova (1964)
- _Università Cattolica di Lovanio, Belgio (1965)

Principali premi e medaglie

- _Premio ministeriale dell'Accademia nazionale dei Lincei
- _Premio reale dell'Accademia nazionale dei Lincei (1943)
- _Medaglia d'oro del Comune di Milano come Cittadino benemerito (1960)
- _Medaglia d'oro del Presidente della Repubblica come Benemerito della scuola della cultura e dell'arte (1961)
- _1ª Medaglia d'oro "International Synthetic Rubber" conferitagli da "Rubber & Plastics Age" (1961)
- _Medaglia d'oro della Provincia di Milano come Benemerito della Provincia (1962)
- _Fronda d'oro della Liguria (1962)
- _Medaglia d'oro della Society of Plastics Engineers di New York (International Award in Plastics Science and Engineering) (1963)
- _Medaglia Perkin della Dyers and Colourist inglese (1963)
- _John Scott Award (del Board of Directors del City Trust di Filadelfia) (1963)
- _Premio Nobel per la chimica, insieme a Karl Ziegler (1963)
- _Medaglia Exposition Nationale Suisse, Lausanne (1964)
- _Medaglia Lomonosov (1969)

Opere su Natta

_Giulio Natta, *the Father of Stereoregular Polymers* in J. Polymer Sci., 51, 382 (1981)

_A. Girelli, *Significato di un premio*, in Chimica e Industria, 45 (11), 1326 A (1963)

_P. Pino, *Giulio Natta*, Commemorazione tenuta nella seduta dell'8 marzo 1980, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma 1980

_S. Carrà, F. Parisi, I. Pasquon, P. Pino, eds., *Giulio Natta. Present Significance of His Scientific Contribution*, Editrice di Chimica, Milano 1982

_P. Pino, *Nascita dell'era dei polimeri*, in Scienza Duemila, 6 (9), 23 (1984)

_P. Corradini, *Un nuovo capitolo per la chimica*, in Scienza Duemila 6 (9), 27 (1984)

_G. Mazzanti, *Il coraggio del pensare libero*, in Scienza Duemila, 6 (9), 29 (1984)

I. Pasquon, *Il primo passo di un lungo cammino*, in Scienza Duemila, 6 (9), 29 (1984)

_I. Pasquon, U. Giannini, *Catalytic Olefin Polymerization*, in Catalysis Science and Technology, J.R. Anderson and M. Boudart, eds. Springer-Verlag, Berlin 1984

_P. Pino, U. Giannini, L. Porri, *Insertion Polymerization*, in Encyclopedia of Polymer Science and Engineering", Mark, Bikales, Overberger, Menges, eds, 2 edition, vol. 8, John Wiley, New York 1987

_Italo Pasquon, *Giulio Natta e l'Industria chimica*, in Il Politecnico di Milano nella storia italiana (1914-1963), vol. II Suppl. al n. 28 ott.-dic. 1988, Rivista milanese di economia, Cassa di Risparmio delle Province Lombarde, Laterza, Milano 1988

_A. Di Meo, *Giulio Natta (1903-1979)*, in Storia della Chimica in Italia, Gruppo Ferruzzi - Edizioni Theoria, Roma-Napoli 1989

_I. Pasquon, L. Porri, U. Giannini, *Stereoregular Linear Polymers*, in Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, Mark, Bikales, Overberger, Menges, eds., 2 edition, vol. 15, John Wiley, New York 1989

_L. Porri, A. Giarrusso, *Conjugated Diene Polymerization*, in Comprehensive Polymer Science, G.C. Eastmond, A. Ledwith, S.Russo, P. Sigwalt, eds.,vol.4, part II, Pergamon Press Ltd., Oxford 1989

_Italo Pasquon, *Ricerca e industria nell'esperienza di Giulio Natta*, in The Quality, 2 (4), 5 (1994)

_Giorgio Petroni, *Il polipropilene isotattico: un contributo fondamentale allo sviluppo della moderna chimica industriale*, in Leadership e Tecnologia, la matrice organizzativa delle grandi innovazioni industriali, Franco Angeli, 2000, Milano

1906	Fisiologia e Medicina	Camillo Golgi
1906	Letteratura	Giosuè Carducci
1907	Pace	Ernesto Teodoro Moneta
1909	Fisica	Guglielmo Marconi
1926	Letteratura	Grazia Deledda
1934	Letteratura	Luigi Pirandello
1938	Fisica	Enrico Fermi
1957	Fisiologia e Medicina	Daniel Bovet
1959	Letteratura	Salvatore Quasimodo
1959	Fisica	Emilio Gino Segre (USA)
1963	Chimica	Giulio Natta
1969	Fisiologia e Medicina	Salvador Luria (USA)
1975	Letteratura	Eugenio Montale
1975	Fisiologia e Medicina	Renato Dulbecco (USA)
1984	Fisica	Carlo Rubbia
1985	Scienze Economiche	Franco Modigliani (USA)
1986	Fisiologia e Medicina	Rita Levi Montalcini
1997	Letteratura	Dario Fo
2002	Fisica	Riccardo Giacconi (USA)

1) Istituito nel 1968 dalla Banca di Svezia
(Bank of Sweden Prize in Economic Sciences in Memory of Alfred Nobel)

Comitato Editoriale del presente numero della Rivista:
Giuseppe Allegra (coordinatore), Sergio Auricchio, Italo Pasquon, Lido Porri, Guido Raos, Enrico Tronconi

Giuseppe Allegra
Professore Ordinario
SSD Fondamenti chimici delle tecnologie
Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta"
Politecnico di Milano

Sergio Auricchio
Professore Associato
SSD Fondamenti chimici delle tecnologie
Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta"
Politecnico di Milano

Giulio Ballo
 Rettore del Politecnico di Milano
Professore Ordinario
SSD Tecnica delle Costruzioni

Luciano Caglioti
Professore Ordinario
SSD Chimica Organica
Dipartimento di Studi di Chimica e Tecnologia delle Sostanze Biologicamente Attive
Università degli Studi di Roma "La Sapienza"

Sergio Carrà
Professore Fuori ruolo
SSD Principi di Ingegneria Chimica
Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta"
Politecnico di Milano
È stato Presidente dell'Associazione Italiana di Fisica Chimica
Membro Accademia Nazionale dei Lincei

Paolo Corradini
Professore Ordinario
SSD Chimica generale e inorganica
Dipartimento di Chimica
Università degli Studi di Napoli "Federico II"
Membro Accademia Nazionale dei Lincei

Adriano De Maio
Già Rettore del Politecnico di Milano
Attualmente ricopre le cariche di Rettore della Luiss "Guido Carli" di Roma e di Commissario CNR

Paolo Galli
Senior Advisor di Basell Polyolefins
È stato Direttore del Centro Ricerche di Ferrara, Responsabile per la Ricerca di Himont Inc., Direttore Centrale per la Ricerca del Gruppo Montedison e Presidente di Montell Technology Company

Fabio Ganazzoli
Professore Associato
SSD Fondamenti chimici delle tecnologie
Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta"
Politecnico di Milano

Emilio Gatti
Professore Emerito
Dipartimento di Eletttronica e Informazione
Politecnico di Milano
Membro Accademia Nazionale dei Lincei

Giorgio Mazzanti
Già libero docente presso il Politecnico di Milano, ha ricoperto le cariche di Responsabile R&S e Programmazione Montedison e di Presidente ENI.

Stefano Valdo Meille
Professore Straordinario
SSD Fondamenti chimici delle tecnologie
Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta"
Politecnico di Milano

Giuseppe Natta
Presidente di Sistema Ecodeco S.p.A.

Italo Pasquon
Professore Emerito
Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta"
Politecnico di Milano

Lido Porri
Professore Emerito
Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta"
Politecnico di Milano

Guido Raos
Ricercatore di Ruolo
Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta"
Politecnico di Milano

Giuseppe Zerbi
Professore Ordinario
SSD Scienza e Tecnologie dei Materiali
Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta"
Politecnico di Milano

Traduzioni
Luca Trentini

Fonti iconografiche
Le immagini del presente numero, inclusa l'immagine di copertina, sono tratte dal volume Giulio Natta l'uomo e lo scienziato, pubblicato a cura del Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta" del Politecnico di Milano, Aprile 2003, III edizione, Eliotichimica s.r.l., realizzato con il contributo di Basell Poliolefine Italia s.p.a.

Le due foto a corredo dell'intervento del Rettore a pag. 7-12 sono state gentilmente fornite da Federchimica.
L'immagine dello spot pubblicitario di pag. 89 è tratta dall'archivio Edison.

La Rivista è stata realizzata con il contributo del Rotary Club parco Sud.

Milano, Ottobre 2003.

Registrata presso
il Tribunale di Milano
con il n° 813 del 13.11.1987

Tutti i diritti riservati
al Politecnico di Milano.

Courtesy of Rivista del Politecnico - <http://www.rivistapolitecnico.polimi.it/r/home.html>

Riproduzione autorizzata da Rivista del Politecnico - <http://www.rivistapolitecnico.polimi.it/r/home.html>