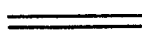


39
295

~~2/10~~

G. NATTA, F. DANUSSO

Nomenclatura relativa ai polimeri aventi struttura stericamente ordinata



Estratto dalla rivista "LA CHIMICA E L'INDUSTRIA"

ANNO XL - Settembre 1958 - Pag. 743

Soc. p. Az. EDITRICE DI CHIMICA
MILANO - VIA S. TOMASO, 3

GIULIO NATTA, FERDINANDO DANUSSO

Nomenclatura relativa ai polimeri aventi struttura stericamente ordinata (*)

A) POLIMERI A STRUTTURA ORDINATA

A 1) - Un polimero lineare ha struttura ordinata quando è costituito da macromolecole le cui unità monomeriche si succedono lungo la catena con disposizioni e/o configurazioni ordinate secondo qualche regola. La regola che caratterizza una disposizione parzialmente o completamente ordinata può essere semplice o composta da poche regole semplici (e perciò periodica), ma non deve avere in generale carattere casuale o statistico.

Così, ad es., può essere considerato a struttura ordinata:

a) un polimero vinilico lineare con ordinamento completo testa-coda; oppure b) un polimero lineare, ordinato testa-coda e con le unità monomeriche disposte tutte in una medesima configurazione sterica lungo la catena; oppure c) un polimero lineare le cui macromolecole sono composte da una successione di blocchi o grosse unità ripetentesi uguali, composte ognuna da un certo numero di unità strutturali base disposte secondo una certa regola (periodica rispetto alla macromolecola complessiva).

Nel primo esempio si ha un ordinamento unicamente relativo alla struttura posizionale dell'unità monomerica. Nel secondo esempio si possono pensare due ordinamenti sovrapposti, uno di struttura di posizione ed uno di struttura sterica, oppure un unico ordinamento di configurazione.

In generale è chiaro che un ordinamento può essere composto da più ordinamenti, che rappresentano gradini diversi di una disposizione parzialmente o completamente ordinata.

La possibilità di esistenza di una pluralità di ordinamenti trova la sua origine innanzitutto nella possibilità di esistenza di varie strutture isomere, in senso classico, delle unità monomeriche. Nel caso di unità monomeriche in qualche modo asimmetriche, esiste anche la possibilità di diversi orientamenti di un'unità monomerica rispetto ad una adiacente o secondo una direzione prescelta lungo la catena (ad es. ordinamenti testa-coda oppure testa-testa-coda).

Questa seconda possibilità può però essere trattata in termini di isomeria di posizione (di sostituenti) di unità monomeriche o di unità base.

In generale, quindi, le strutture ordinate nei polimeri trovano la loro origine nella possibilità di isomerie (di posizione, di struttura, steriche ecc.) delle unità monomeriche o, più in generale, delle unità base.

Mentre in passato si sono spesso considerate e realizzate strutture polimeriche con ordinamenti collegati ad isomerie posizionali o strutturali delle unità, solo recentemente, con la scoperta di particolari processi di polimerizzazione stereospecifica, si è sentita la necessità di classificare nuovi polimeri, le cui macromolecole sono ordinate anche per configurazione sterica delle unità costitutive. Il raggiungimento di ordinamenti di carattere sterico comporta una tale regolarità di meccanismo di polimerizzazione, che, nei casi finora noti, i polimeri ordinati per isomeria sterica delle unità risultano ordinati anche per isomeria posizionale e/o strutturale.

(*) Presentata alla Commissione delle Macromolecole della I.U.P.A.C. (Unione Internazionale di Chimica Pura ed Applicata) nelle riunioni di Nottingham, (21-24 luglio 1958).

(**) Dal verbo greco «τάττω» disporre, ordino.

La presente nomenclatura riguarderà quindi polimeri lineari che, salvo espressa menzione contraria, sono da considerare sempre dotati anche di ordinamento posizionale e strutturale delle unità.

B) TASSIA ED EUTASSIA

B 1) - *Polimero tattico* (**) *lineare* o semplicemente *polimero tattico* è un polimero costituito da macromolecole le cui unità monomeriche (od unità base) si succedono lungo la catena con configurazioni steriche ordinate secondo una qualche regola. La regola, o *tassi*, che caratterizza una disposizione parzialmente o completamente ordinata, o *tassia*, può essere semplice o composta da poche regole semplici, ma non deve avere carattere casuale o statistico. Tassie più complesse possono poi trovare origine non solo dalle configurazioni steriche di poche unità, ma anche dalle possibilità, teoricamente molto numerose, di disposizioni programmatiche di unità monomeriche di diversa configurazione lungo la catena macromolecolare (*tassie e tassi programmatiche*).

Polimero eutattico (***) è un polimero tattico le cui unità monomeriche (od unità base) sono ordinate secondo numeri e tipi di tassie tali che le macromolecole risultano completamente ordinate. In altre parole, un polimero eutattico è un polimero tattico completamente privo di ogni elemento di disordine strutturale lungo le catene delle sue molecole.

E' consigliabile che la definizione di polimero eutattico sia ristretta ai casi in cui l'ordinamento complessivo, od *eutassia*, è relativamente semplice, cioè quando l'unità ripetentesi assume dimensioni relativamente piccole (al massimo di alcune unità monomeriche).

Eutattico è, ad es., un polimero del butadiene quando le unità monomeriche hanno tutte la medesima configurazione 1-4 *trans* o tutte 1-4 *cis*. Un polietilene lineare non potrà essere chiamato eutattico perchè, anche se composto dalla successione ordinata di unità base $-CH_2-$, queste non hanno alcuna possibilità di isomeria sterica. Un ossiacido antipodo ottico dà luogo, per policondensazione, ad un policondensato eutattico. Una miscela di isomeri di un amminoacido dà invece, per policondensazione normale, un polimero che, relativamente al concatenamento delle unità monomeriche, può essere considerato ordinato, ma che non è eutattico, a causa del disordine statistico derivante dalla isomeria sterica delle unità. Supposto che esistesse un catalizzatore in grado di polimerizzare una miscela di ammino-acidi stereoisomerici, in modo da ottenere delle catene tutte costituite da *l*-amminoacido o tutte da *d*-amminoacido, il polimero risultante sarebbe eutattico. Per polimerizzazione radicalica di un monomero vinilico si può ottenere un polimero dotato di qualche ordinamento, ad es. per concatenamento testa-coda, ma in generale esso non sarà ordinato dal punto di vista della configurazione sterica (destra o sinistra rispetto ad una direzione lungo la catena) delle sue unità e perciò non sarà un polimero eutattico. Esso può invece essere ottenuto in una forma eutattica con una polimerizzazione che disponga le unità monomeriche lungo la catena con un medesimo orientamento sterico.

(***) Dal prefisso greco «εὐ», bene, e dal verbo «τάττω» disporre, ordino.

B 2) - Analogamente ai polimeri tattici possono essere definite *macromolecole tattiche, catene tattiche, blocchi tattici* ecc. e così pure, analogamente ai polimeri eutattici, possono essere definite *macromolecole eutattiche, catene eutattiche, blocchi eutattici*, ecc.

B 3) - *Polimerizzazione tattica* è ogni polimerizzazione che produce un polimero tattico. *Polimerizzazione eutattica* è ogni polimerizzazione che produce un polimero eutattico. E' consigliabile, però, restringere il significato del termine ai casi in cui la formazione di un polimero tattico od eutattico è conseguenza del particolare meccanismo della polimerizzazione e non semplicemente della struttura del monomero o dell'unità monomerica.

C) ATASSIA

C 1) - *Polimero atattico* è quello le cui macromolecole, pur essendo dotate di ordinamento posizionale o strutturale, non hanno ordinamento sterico delle unità o sono dotate di tassie di complessità tale da non essere comprensibili con un'intelligenza semplice.

L'*atassia* deve perciò essere considerata come uno stato strutturale dotato di caratteristiche steriche, ma privo di specifiche tassie e quindi anche di eutassia.

Un polimero vinilico, ad es. prodotto con processi radicalici convenzionali, è in genere un polimero atattico, perchè dotato di ordinamento testa-coda delle sue unità, ma disordinato nelle configurazioni steriche degli atomi di carbonio terziario che si succedono lungo le catene principali delle macromolecole.

C 2) - Analogamente ai polimeri atattici possono essere definite *macromolecole atattiche, catene atattiche, blocchi atattici*, ecc.

C 3) - *Polimerizzazione atattica* è ogni polimerizzazione che dà luogo ad un polimero atattico.

D) TASSIE PARTICOLARI

Nella chimica delle sostanze a basso peso molecolare, sono noti diversi tipi di isomerie steriche, dovute a differenze di configurazioni molecolari comprensibili mediante osservazione spaziale.

Isomerie steriche spesso considerate sono, ad es., l'isomeria dovuta alla presenza di atomi di carbonio asimmetrici (isomeria comunemente detta ottica); l'isomeria etilenica dovuta alle due configurazioni *cis* e *trans* di due sostituenti uguali rispetto al doppio legame; isomerie *cis* e *trans* di strutture più complesse (talvolta dette anche geometriche) e così via.

La possibilità di classificazione delle isomerie steriche in vari tipi giustifica la classificazione anche dei polimeri tattici in più categorie.

In questo rapporto definiremo tre tipi di tassie che sono finora state praticamente realizzate ed individuate. Per queste sono già entrati nell'uso corrente alcuni termini, che preciseremo qui in tre paragrafi distinti, con eventuali osservazioni sui loro significati primitivi.

a) Isotassia.

D a) 1. Nel caso di polimeri le cui unità monomeriche (od unità base) possono esistere in due configurazioni non sovrapponibili enantiomorfe (l'una immagine speculare dell'altra), sia intrinsecamente, sia per la loro posizione nella catena, si possono verificare tassie dovute a configurazioni di atomi di carbonio asimmetricamente

sostituiti. Considereremo *asimmetriche* le unità dei polimeri di tale tipo.

Polimero isotattico (*) è un polimero le cui unità monomeriche (od unità base) sono asimmetriche e disposte in modo tale che, passando lungo una singola catena da un'unità monomerica (od unità base) alla successiva, si ha ripetizione di configurazione dell'unità. In termini geometrici, considerando due unità monomeriche (o due unità base) successive, per traslazione e rotazione di una di esse si può ottenere la sovrapposizione delle due unità (eventualmente anche con rotazioni di singoli gruppi attorno a legami semplici).

Un polimero isotattico è in generale eutattico. L'ordinamento corrispondente, o *isotassia*, si riassume in una regola semplice (*isotassi*), che è la *ripetizione* della configurazione delle unità monomeriche lungo una singola catena.

Consegue che tutti gli ordinamenti, che possono comporre l'*isotassia*, devono essere di ripetizione. Così, ad es., un polimero di unità monomeriche viniliche, o vinilidene asimmetricamente sostituite, isotattico è ordinato per posizione (concatenamento testa-coda) e per una tassia semplice (tutte le unità monomeriche aventi la stessa configurazione sterica lungo la catena). Un ipotetico poliisoprene a concatenamento 1-2, e perciò con ordinamento strutturale, sarebbe isotattico solo se avesse anche ordinamento posizionale testa-coda ed ordinamento sterico con ripetizione della configurazione spaziale del carbonio quaternario. Il polimero ottenuto per policondensazione, ad es., di un *d*-amminoacido è, secondo la suddetta definizione, un polimero isotattico.

Isotattico è il polimero cristallino ottenibile con particolare polimerizzazione del propilenoossido racemico (**).

E' da tenere presente che le differenti configurazioni steriche di un'unità monomerica possono anche derivare da più di un luogo o centro di asimmetria. Così, da un monomero vinilico, il cui sostituito contenga, ad es., un atomo di carbonio asimmetrico, si può ottenere un polimero propriamente isotattico solo se sono realizzati i seguenti ordinamenti di ripetizione: a) posizionale (testa-coda); b) sterico lungo la catena principale; c) sterico per configurazione dei sostituenti.

Non considerando la tassia c), si avrebbe isotassia limitata alla catena principale e si potrebbero considerare distintamente tassie delle catene laterali.

Si potrebbe cioè eventualmente distinguere con vocaboli diversi tra isotassia di catena principale ed isotassia di catena laterale (o di sostituenti). Quando però non si farà esplicita menzione, ci si riferirà sempre ad isotassie di catena principale.

NOTA - Originariamente la definizione di « polimero isotattico » è stata introdotta per indicare brevemente, evitando lunghe spiegazioni, quei polimeri di monomeri del tipo $CH_2=CHR$, nelle cui macromolecole tutti gli atomi di carbonio terziari, almeno per lunghe porzioni di catena, hanno la stessa configurazione sterica.

Una macromolecola isotattica, derivante da un monomero $CH_2=CHR$, veniva definita, per maggiore chiarezza, come quella macromolecola nella quale, supposto che la catena principale sia interamente stesa su un piano, tutti i gruppi sostituenti *R* si trovano da una stessa parte del piano, mentre gli atomi di idrogeno legati agli atomi di carbonio terziari si trovano dall'altra parte del piano. Ciascun atomo di carbonio terziario della catena principale è compreso, in questi polimeri, tra due gruppi $-CH_2-$. Pertanto, per ciascun atomo di carbonio terziario la possibilità dell'esistenza di due configurazioni steriche è determinata da una differenza nei gruppi terminali e/o dalla lunghezza e differente configurazione dei due segmenti della catena principale legati ad essi.

(*) Dai termini greci « *ἴσος* » uguale, e « *τάττω* » dispongo. Il termine « isotattico » fu introdotto per la prima volta da Giulio NATTA durante una seduta dell'Accademia Nazionale dei Lincei in Roma, l'11 dicembre 1954 - G. NATTA, *Atti Accad. Naz. Lincei, Mem.* (8), 4, 61 (1955). - G. NATTA, P. PINO, P. CORRADINI, F. DANUSO, E. MANTICA, G. MAZZANTI, G. MORAGLIO, *J. Am. Chem. Soc.* 77, 1708 (1955) - G. NATTA, *J. Polym. Sci.* 16, 143 (1955). Vedi anche: G. NATTA, P. PINO e G. MAZZANTI, *Gazz. Chim. It.*, 87, 528 (1957).

(**) C. C. PRICE, M. OSGAN, R. E. HUGHES e C. SHAMBELAN, *J. Am. Chem. Soc.*, 78, 690 (1956); G. NATTA, P. CORRADINI, G. DALL'ASTA, *Rend. Acc. Naz. Lincei*, (8) 20, 408 (1956).

I primi esempi di tali polimeri furono i polimeri isotattici del propilene, del butilene, di alcune altre alfa-olefine e dello stirolo, ossia di sostanze, che, allo stato di monomero, non contengono atomi di carbonio asimmetrico.

Successivamente, da parte di molti autori, vi fu una forte tendenza ad estendere la definizione ad altri casi. Così, ad esempio, vennero chiamati « isotattici » anche polimeri derivanti da monomeri già contenenti atomi di carbonio asimmetrici (ad es. C. C. PRICE, e coll., loc. citato).

In questa relazione abbiamo voluto assecondare questa tendenza che semplifica la terminologia, per certi aspetti, e che, d'altro canto, segue il significato etimologico.

La più ampia definizione può tuttavia comportare motivo di discussione.

Così, ad esempio, il polimero ottenuto per policondensazione di un *d*-amminoacido è, secondo la definizione più estesa, un polimero isotattico. Questo è, comunque, uno di quei casi in cui il termine « isotattico » non è strettamente necessario dato che il polimero può essere chiaramente identificato, nel suo carattere eutattico, dal termine « poli (*d*-amminoacido) ».

Il polimero cristallino che può essere attualmente ottenuto dal propilenoossido, può essere, in egual modo, definito nella sua struttura come « poli (*l*-propilenoossido) » o come « poli (*d*-propilenoossido) », quando è ottenuto da un monomero otticamente attivo, e come « poli-propilenoossido racemico » quando è ottenuto per mezzo di polimerizzazione stereolettica da un monomero racemico. Un polimero non-cristallino ottenuto mediante normale polimerizzazione di un propilenoossido racemico, può essere definito con il termine « poli (*d+l*-propilenoossido) » o, più semplicemente, « polipropilenoossido ».

Analoghe considerazioni possono essere fatte per i polimeri sindiotattici, per i quali si può dare una definizione più larga o più ristretta, mentre per i polimeri atattici la definizione data in questo rapporto corrisponde a quella originale.

D a) 2 - Analogamente si possono definire *macromolecole isotattiche, catene isotattiche, blocchi isotattici, etc.*

D a) 3 - *Polimerizzazione isotattica* è ogni polimerizzazione che, mediante un particolare meccanismo, produce un polimero isotattico. Tale termine ha significato sia se si parte da un monomero che non ammette isomeri sterici (come ad es., le alfa-olefine), sia se si parte da un monomero che li ammette.

Convieni, per maggior chiarezza, distinguere due casi di polimerizzazione isotattica, che rientrano rispettivamente nei seguenti due tipi generali di polimerizzazione con effetto sterico:

a) *Polimerizzazione stereotattica (o stereospecifica)*: quando da un unico monomero, che può dar luogo a due unità monomeriche stereoisomere, si ottiene un polimero tattico;

b) *Polimerizzazione stereolettica (*) (o stereolettiva)*: quando da una miscela di monomeri stereoisomeri, ognuno dei quali dà luogo ad un unico tipo di unità monomerica, si ottiene un polimero tattico.

Nel caso della formazione di polimeri isotattici si può cioè distinguere tra *polimerizzazione stereoisotattica* (ad es. quella delle α -olefine) e *polimerizzazione stereoisolettica* (ad es. quella del propilenoossido racemico).

E' interessante notare che nel caso di polimerizzazione stereoisolettica le macromolecole formate da uno degli stereoisomeri monomerici sono otticamente attive, ma il polimero totale può essere inattivo, perchè possono essere presenti, in egual numero, molecole enantiomorfe formate dal secondo stereoisomero monomerico. Nel caso invece di polimerizzazione stereoisotattica in genere, le macromolecole (ad es. nei polimeri polivinilici) formate

solo da unità monomeriche di un tipo (ad es. sinistre) possono risultare praticamente identiche a quelle formate solo da unità monomeriche dell'altro tipo (ad es. destre), in quanto per polimeri a peso molecolare elevato, si può trascurare l'asimmetria dovuta ai gruppi terminali.

b) Sindiotassia.

D b) 1 - *Polimero sindiotattico (**)* è un polimero composto da macromolecole le cui unità monomeriche (o unità base) sono asimmetriche e sono disposte in modo tale che, passando lungo la catena da un'unità alla successiva, si ha ripetizione di posizione (dei sostituenti) e di struttura, ma inversione della configurazione sterica.

In termini geometrici, considerando due unità monomeriche (o due unità base) successive, per traslazione e rotazione di una di esse (ed eventualmente anche rotazioni intorno a singoli legami interni), non si otterrà mai sovrapposizione delle due unità, ma l'una potrà solo divenire immagine speculare dell'altra.

La *sindiotassia* è l'ordinamento corrispondente. Essa può essere pensata come composta da ordinamenti posizionali e strutturali identici a quelli dell'isotassia (di ripetizione) e da una tassia opposta a quella dell'isotassia (tassia di inversione).

E' ad es. sindiotattico un polimero del butadiene formato per concatenamento 1-2 testa-coda e con le unità monomeriche che si succedono lungo la catena con configurazione alternativamente destra e sinistra rispetto ad una direzione prescelta. Analogamente può essere sindiotattico un polimero da monomero vinilico o vinilidenoico asimmetricamente sostituito.

D b) 2 - Analogamente ai polimeri sindiotattici possono essere definite *macromolecole sindiotattiche, catene sindiotattiche, blocchi sindiotattici, etc.*

D b) 3 - *Polimerizzazione sindiotattica* è ogni polimerizzazione che produce un polimero sindiotattico. Come nel caso della polimerizzazione isotattica, oltre ad una *polimerizzazione stereoisindiotattica* si potrebbe prevedere una *polimerizzazione stereoisolettica*, a seconda che la polimerizzazione sia stereotattica o stereolettica.

E' interessante notare che le macromolecole sindiotattiche, ottenibili sia con l'uno che con l'altro tipo di polimerizzazione, hanno sempre la stessa struttura e non sono costituite da una miscela di macromolecole enantiomorfe come nel caso dei polimeri isotattici considerati con i gruppi terminali.

c) Cistassia e transtassia.

D c) 1 - Quando un polimero contiene, nell'unità monomerica, un doppio legame, od un gruppo con analogo effetto strutturale, possono aver luogo tassie che regolano la configurazione *cis* o *trans* di sostituenti.

Polimero cistattico, o rispettivamente *transtattico*, è ogni polimero le cui macromolecole sono formate da unità monomeriche (od unità base) suscettibili di isomeria *cis* e *trans*, che si succedono tutte con una medesima configurazione *cis*, o rispettivamente *trans*, lungo le catene.

Esempi tipici di tali polimeri sono stati realizzati per le polidiolefine (polibutadieni o poliisopreni *cis* e *trans*). Analogamente possono essere definiti i seguenti termini:

D c) 2 - *Macromolecole, catene, blocchi, ecc. cistattici o transtattici;*

D c) 3 - *Polimerizzazione cistattica o transtattica.*

(**) Dalle parole greche « $\sigma\upsilon\upsilon$ », insieme; « $\delta\delta\omicron$ », due; « $\tau\acute{\alpha}\tau\tau\omega$ », dispongo. Il termine « sindiotattico » fu introdotto per la prima volta da Giulio NATTA durante una seduta dell'Accademia Nazionale dei Lincei in Roma, il 12 novembre 1955. G. NATTA, P. CORRADINI, *Rend. Accad. Naz. Lincei*, (8), 19, 229 (1955); *J. Polym. Sci.* 20, 251 (1956).

(*) Dal verbo greco « $\lambda\acute{\epsilon}\gamma\omega$ », scelgo.

E) STERECOPOLIMERI

E 1) - *Stereocopolimeri* sono polimeri, le cui macromolecole sono composte da unità monomeriche (o da unità base) chimicamente identiche (omopolimeri), che sono ordinate da regolarità posizionali e strutturali (eventualmente anche da tassie), ma che non hanno struttura sterica unitaria.

Un polimero atattico, ad es., è uno stereocopolimero.

E 2) - Uno stereocopolimero è eutattico solo quando le unità stericamente differenziate sono ordinate anche secondo tassie. Un caso semplice di stereocopolimero eutattico è il polimero sindiotattico. Più in generale, uno stereocopolimero è eutattico ogni volta che sia ottenuta la realizzazione di una tassia programmatica (ad es. alternanza di blocchi di dimensioni uniformi che presentano due eutassie diverse).

E 3) - *Polimeri a stereoblocchi* (od omopolimeri a stereoblocchi) sono stereocopolimeri le cui molecole sono composte da blocchi tattici di almeno due tipi, o da

blocchi tattici e stereotattici. E' preferibile limitare tale denominazione ai casi in cui i blocchi hanno dimensione media relativamente grande (ad es. dimensione non inferiore a quella che può dare cristallinità rilevabile mediante raggi X o raggi infrarossi).

Diversamente uno stereocopolimero sarà un polimero atattico, che potrebbe essere considerato come uno *stereocopolimero atattico*.

Istituto di Chimica Industriale del Politecnico, Milano,
18 luglio 1958.

Giulio NATTA, Ferdinando DANUSSO

Nota introdotta durante la correzione delle bozze: Il testo presentato alla Commissione delle Macromolecole della I.U.P.A.C. attribuiva alla tassia il più ampio significato di generico ordinamento. In seguito ai pareri espressi da alcuni Membri della Commissione stessa, si è ritenuto opportuno modificare il significato di tassia come espresso in questa pubblicazione, limitandolo al caso di puro ordinamento di configurazioni steriche.

Chimica Industria 40, 743 (1958)

Chimica Industria 40, 743 (1958)

La nomenclature relative aux polymères ayant une structure stériquement ordonnée

On propose un schéma de nomenclature afin d'unifier la terminologie dans le domaine des polymères à structure stériquement ordonnée.

Le schéma donne des définitions qui indiquent l'ordre de distribution des unités monomériques dans la macromolécule ou dans ses parties.

G. NATTA, F. DANUSSO

Nomenclature for Polymers Having Sterically Ordered Structure

A nomenclature scheme is proposed to standardize terminology in the field of polymers having differently ordered steric structure.

The scheme suggests definitions which indicate the order of distribution of the monomeric units in the macromolecule or in parts thereof.

G. NATTA, F. DANUSSO

Chimica Industria 40, 743 (1958)

Nomenklatur der Polymeren mit sterisch geordneter Struktur

Es wird ein Schema zur Nomenklatur vorgeschlagen, das die Normung der Bezeichnungen auf dem Gebiete der Polymeren mit sterisch geordneter Struktur bezweckt.

Das Schema schlägt Bezeichnungen vor, die die Verteilungsordnung der monomeren Einheiten im Makromolekül oder seinen Teilen zum Ausdruck bringen.

G. NATTA, F. DANUSSO