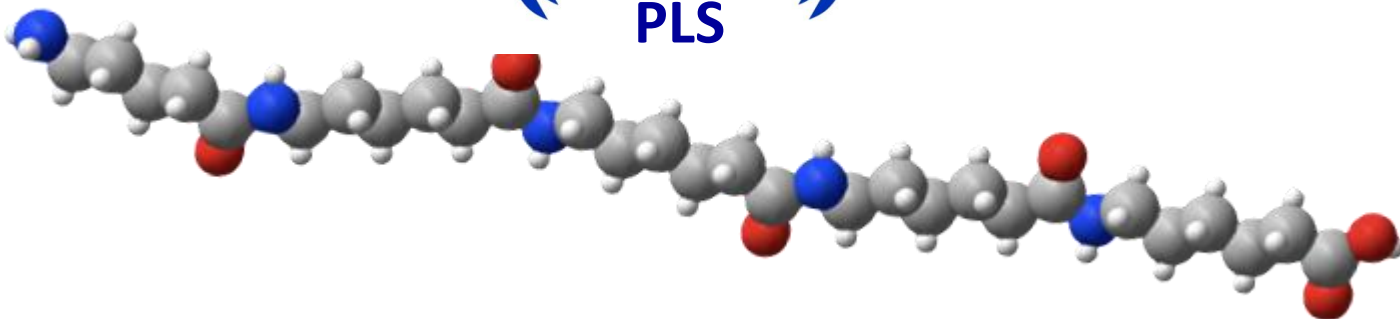


29 settembre 2016



# I Polimeri: un'introduzione

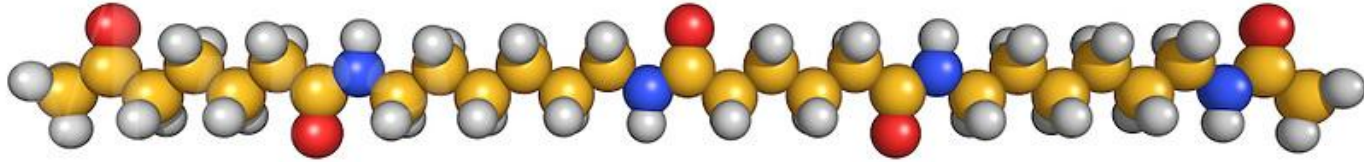


**Raimondo Germani**

Università degli Studi di Perugia

Dipartimento di Chimica, Biologia e Biotecnologie

# I Polimeri



Perché parlare dei Polimeri?

I polimeri sono grandi molecole, alquanto ubiquitarie, che sono essenziali per la nostra esistenza. Essi sono i principali costituenti del nostro cibo (amido, proteine, etc.), dei nostri indumenti (cotone, lana, poliesteri, nylon, etc.), della nostre case (legno, vetro, oggetti casalinghi, vernici, etc.), e del nostro corpo (proteine, enzimi, acidi nucleici, etc.)

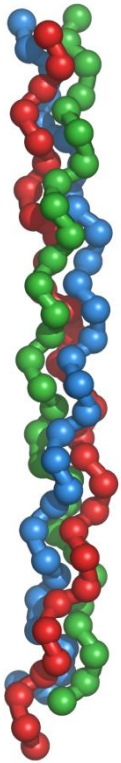
Quindi è senz'altro importante fornire una introduzione generale dei materiali polimerici riguardante la loro preparazione, le loro proprietà e il loro utilizzo.

# Obiettivi della UD



- ❖ **Comprendere la differenza tra molecola e macromolecole.**
- ❖ **Conoscere il significato di materiale polimerico.**
- ❖ **Conoscere i principali meccanismi di sintesi delle macromolecole.**
- ❖ **Conoscere l'importanza dei polimeri nella vita quotidiana.**
- ❖ **Saper distinguere un materiale polimerico di sintesi da uno naturale.**
- ❖ **Comprendere l'importanza del riuso e riciclo delle materie plastiche.**
- ❖ **Saper distinguere i vari tipi di plastica per un riciclo responsabile.**
- ❖ **Comprendere l'importanza delle materie prime secondarie per uno sviluppo sostenibile.**

# Fase di Brainstorming



Collagene

1. Cosa è un materiale polimerico?
2. I materiali plastici sono polimeri?
3. Quali sono le proprietà di un polimero?
4. A cosa servono i polimeri?
5. Come si preparano i polimeri?
6. Esistono polimeri naturali?
7. Alcuni esempi di polimeri naturali
8. Il vetro è un polimero?



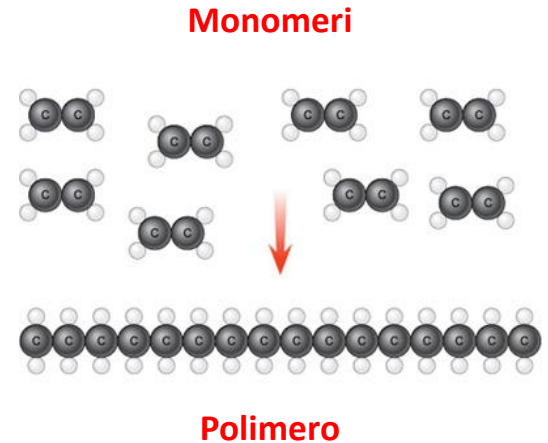
DNA



# Polimeri & Materiali Plastici

❖ Il termine **Plastica** è usato per descrivere materiali commerciali fatti di **polimeri sintetici** (*ottenuti dall'uomo*)

- “poli” (**mol**ti) “meri” (**part**i)
- Non tutti i polimeri sono plastiche



## ❖ Proprietà principali dei materiali plastici

- Ideali per la produzione di massa di prodotti di qualità
- Leggeri e resistenti
- Resistenti alla corrosione
- Bassa conduttività termica
- Translucidi, trasparenti o opachi
- Isolanti elettrici
- Facilmente modellabili
- Riciclabili (alcuni)



# Plastica e Quotidianità

- ❖ I prodotti plastici sono oramai diventati una parte integrante della nostra vita e giocano un ruolo, spesso non rimpiazzabile, nelle attività quotidiane.



Confezioni cibo e bevande



Agricoltura



Cura della salute



Veicoli



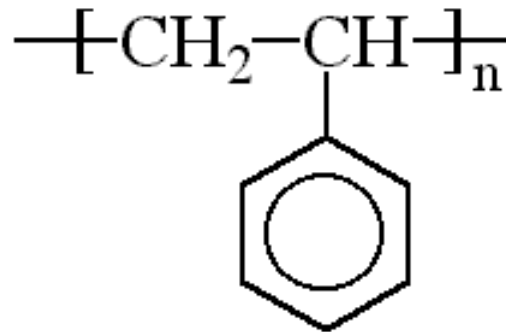
Casalinghi



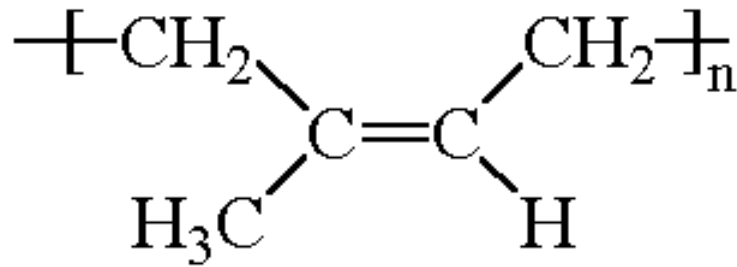
Elettronica

# Materiali Polimerici

Alcuni esempi di **Materiali Polimerici** nella normale vita quotidiana:



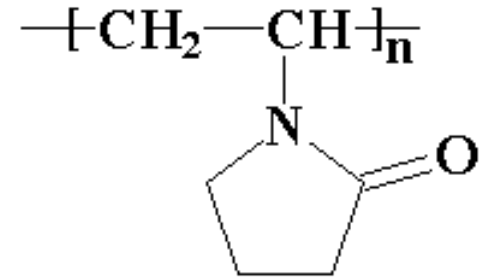
Polistirene



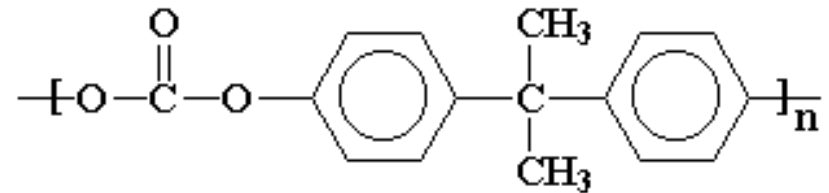
Polisoprene



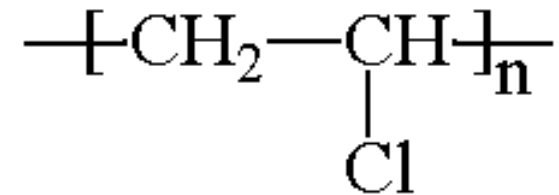
# Materiali Polimerici



Polivinilpirrolidone



Policarbonato

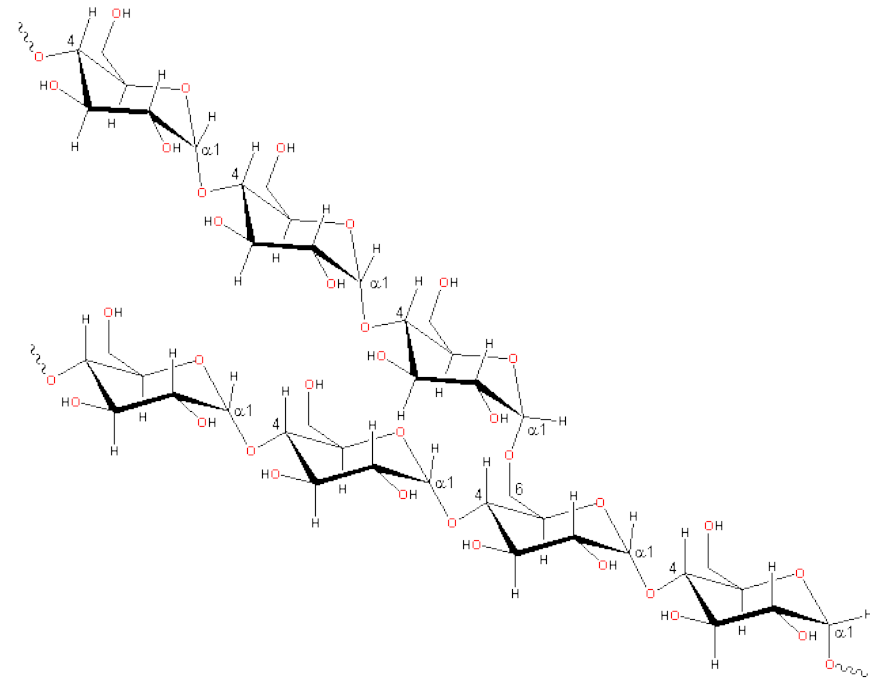
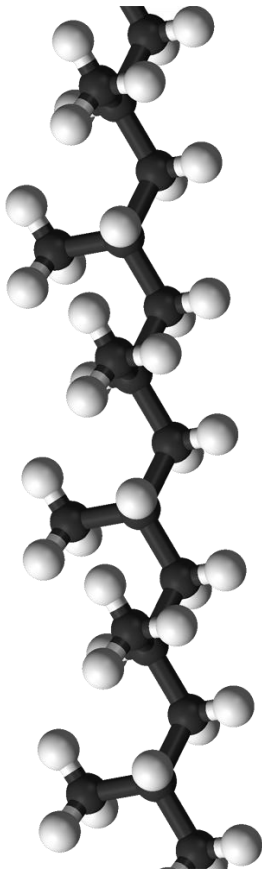


Polivinilcloruro



# Cosa sono i Polimeri?

Sono molecole, costituite da un elevatissimo numero di atomi (**macromolecole**), ad alto peso molecolare ( $10.000 < PM < 100.000.000$ ) aventi una distribuzione di PM, costituite da unità monomeriche.



**Organici & Inorganici**

# Polimerizzazione

I polimeri si ottengono per reazione di polimerizzazione dei monomeri, ad esempio:



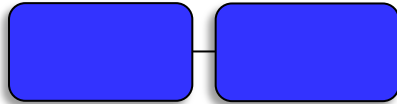
- Il monomero non sempre coincide con l'unità ripetitiva del polimero
- Il grado di polimerizzazione è il numero delle unità monomeriche in un polimero
- Per polimeri sintetici si parla di grado medio di polimerizzazione

# Monomeri & Oligomeri

**MONOMERO**



**DIMERO**



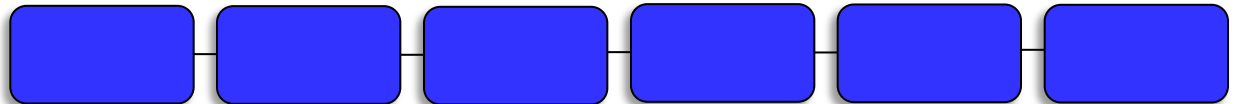
**TRIMERO**



**TETRAMERO**



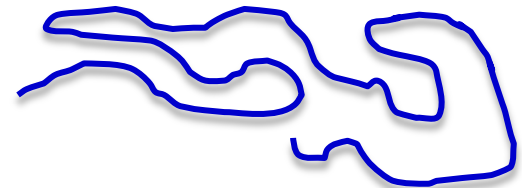
**ESAMERO**



**Oligomeri**



**Poli-mero**



# Classificazione dei Polimeri

**Naturali**



**Semi-sintetici**



**Sintetici**

## **Organici:**

Poliisoprene  
Polisaccaridi  
Acidi nucleici  
Proteine  
Etc.

## **Inorganici:**

Argille  
Asbesto  
Quarzo  
Polifosfati

## **Derivati Cellulosici:**

Acetati di Cellulosa  
Xantato di Cellulosa  
Nitrocellulosa  
Carbossimetil Cellulosa  
Eteri Cellulosici  
Nitrocellulosa  
Etc.



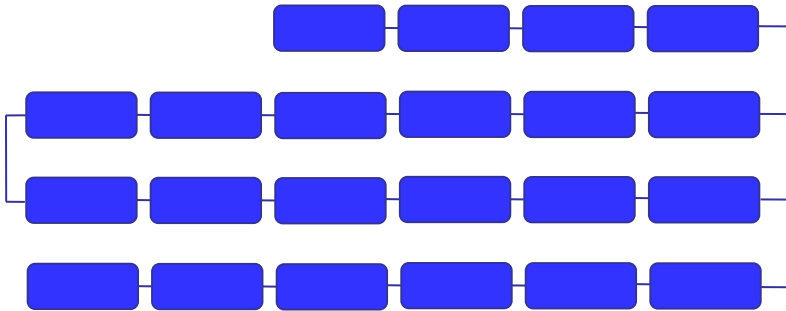
## **Polivinilici**

Polivinilidenici  
Poliesteri  
Poliammidi  
Polioli  
Poliuretani  
Resine fenoliche  
Polieteri  
Polisilossani  
Poliimmidi  
Polietilenglicoli  
Etc.

# Classificazione in base alla composizione

## Omopolimeri

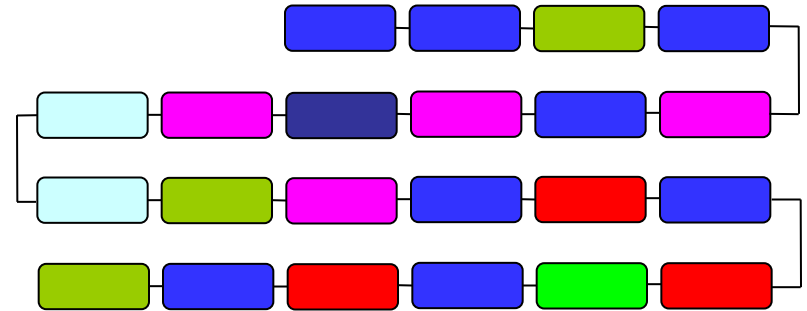
*Strutture macromolecolari costituite da una sola unità monomerica.*



**La cellulosa è un omopolimero**

## Copolimeri

*Strutture macromolecolari costituite da due o più unità monomeriche.*



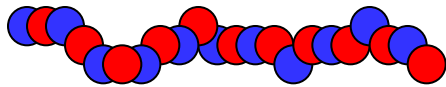
**Le proteine sono dei copolimeri**

**Le proprietà finali del materiale sono strettamente dipendenti dalla distribuzione delle unità monomeriche.**

# Copolimeri

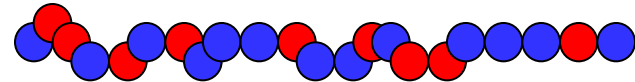
Alternati

A-B-A-B-A-B-A-B-A-B



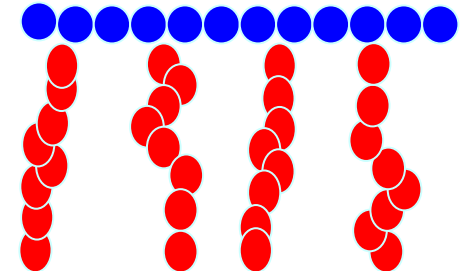
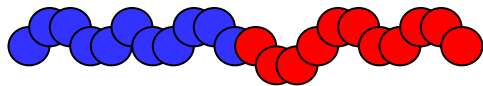
Statistici

-A-A-B-A-B-B-B-A-B-A-A-B



A blocchi

A-A-A-A-A-A-A-B-B-B-B-B-B-B-B

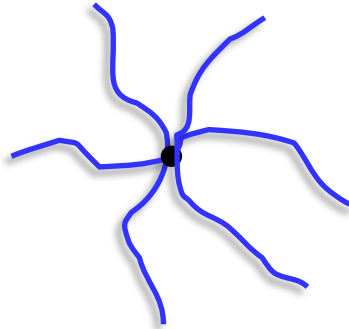


Aggraffata  
(ad inserzione)

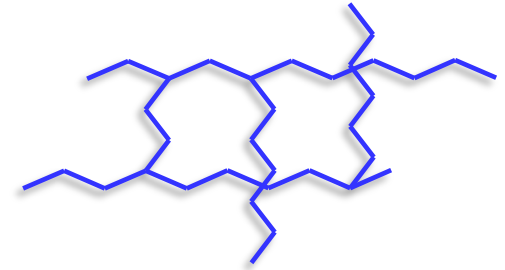
# Morfologia della Macromolecola



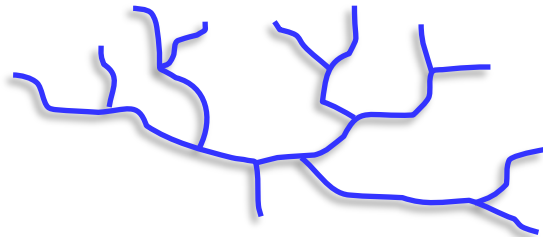
Lineare



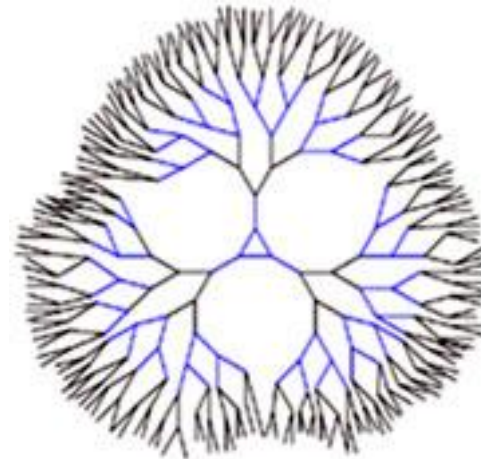
Stella  
(Co)polimero



Reticolata



Iper-ramificata



Struttura  
dendrimerica

# Proprietà Termiche



## - Polimeri Termoplastici

Sono solubili in alcuni solventi e capaci di rammollirsi o indurirsi per azione del calore, sono polimeri scarsamente ramificati e reticolati. Sono molto comuni (es. polistirene, cloruro di polivinile, polietilene, polipropilene, ecc.)

## - Polimeri Termoindurenti

Una volta formati ad alta temperatura, sono insolubili ed infusibili, non sono più modellabili con la temperatura (decompongono ad alte temperature senza fondere) sono polimeri altamente ramificati e reticolati (es. resine fenoliche, ureiche ed epossidiche, etc.).



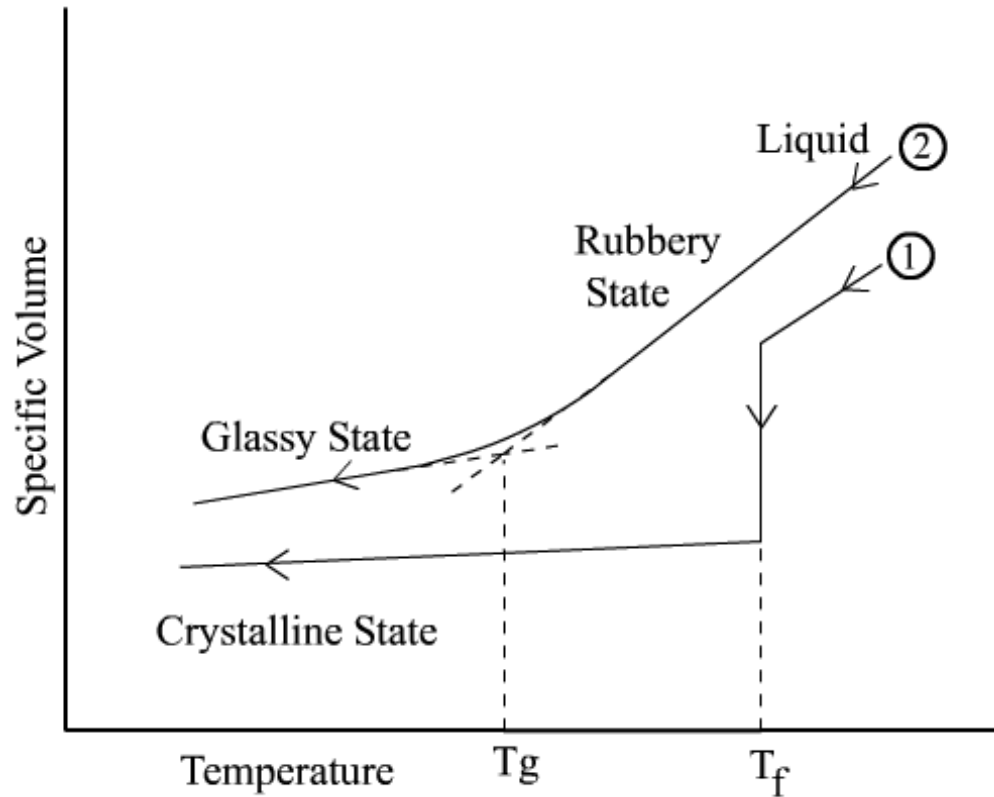
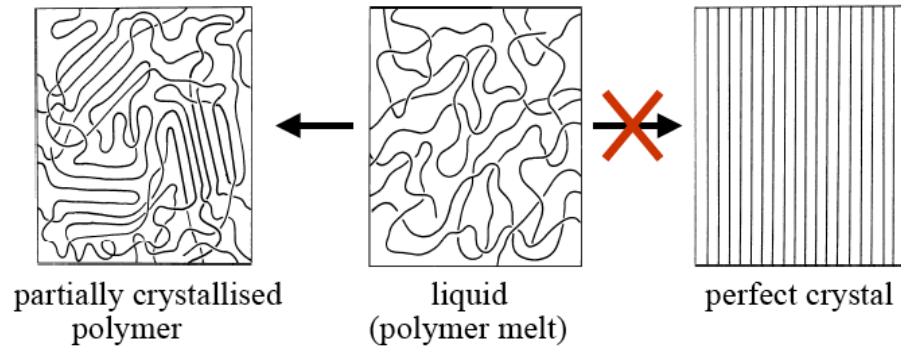
## - Polimeri Elastomeri

Si deformano sotto uno sforzo, ma riacquistano la loro forma originale quando cessa l'azione meccanica (*comportamento elastico*). Una sotto famiglia dei termoplastici.



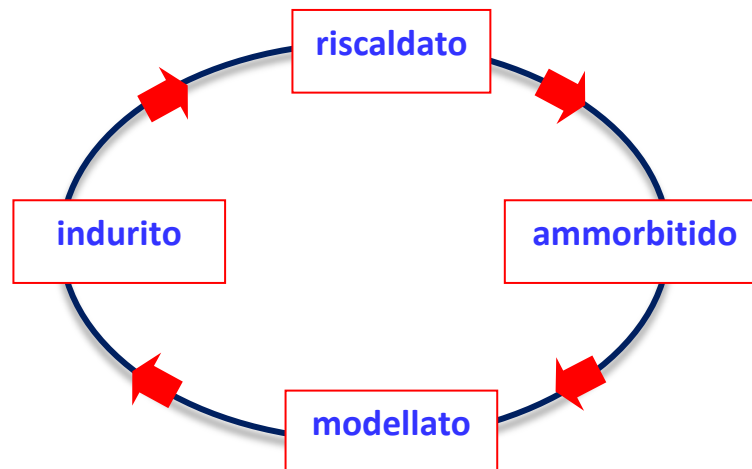


# Proprietà Termiche



# Polimeri Termoplastici

- Materiali molli quando vengono scaldati ed induriscono quando vengono raffreddati.
- Possono essere rimodellati molte volte.
- Quando sono molli sono facilmente stampabili sotto pressione.
- **PLASTIC MEMORY** – è la proprietà del termoplastico di ritornare alla sua forma originale quando ammorbidito dopo essere stato modellato.



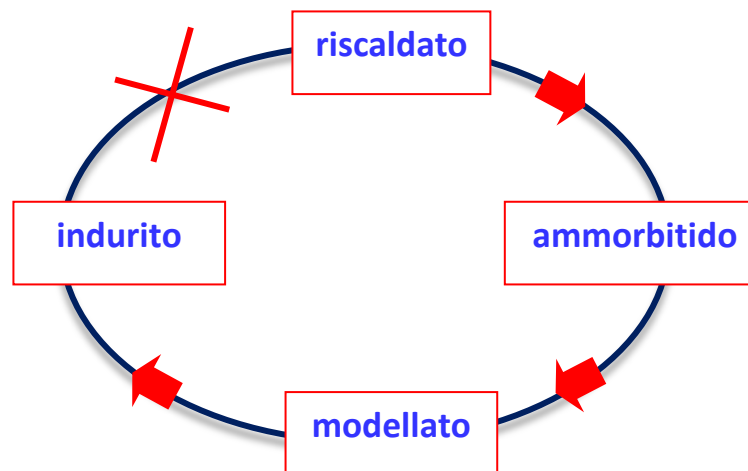
# Esempi di Polimeri Termoplastici

- ❖ **Polietilene HDPE** – Ad alta densità, duro, resiste agli agenti chimici, ceroso al tatto. Utilizzato per gli oggetti rigidi: secchi, ciotole, contenitori sterilizzati.
- ❖ **Polietilene LDPE** – Bassa densità, morbido e flessibile, isolante elettrico. Usato per oggetti flessibili: sacchetti, bottiglie, cavi, guaine, giocattoli.
- ❖ **Polipropilene PP** – rigido, trasparente, buona resistenza chimica, resistente alla fatica, flessione. Utilizzato per le casse, sedili, spaghi, corde, attrezzature mediche, cerniere, stoviglie, pellicole.
- ❖ **Polistirene PS** – leggero, capace di galleggiare, rigido, resistente all'acqua e agli agenti atmosferici. Usato per imballaggi, contenitori, isolamento e giocattoli.
- ❖ **Polivinilcloruro PVC** – rigido, resistente all'abrasione, resistente all'acqua e agli agenti atmosferici. Utilizzato per tubi, grondaie, bottiglie, coperture, infissi.
- ❖ **Polimetacrilato PMMA** – Rigido, duro, trasparente, durevole, facilmente graffiabile, lucidabile. Utilizzato per segnali di illuminazione, riflettori / lenti , gioielli.
- ❖ **Nylon** – Materiale duro con buona resistenza all'usura e alle intemperie. Il nylon solido ha un basso coefficiente d'attrito e alto punto di fusione. Utilizzato in raccordi, pettini, vestiti e ruote.



# Polimeri Termoindurenti

- ❑ Ottenuti da reazioni chimiche che li lasciano in uno stato fisico fisso non modificabile.
- ❑ Non possono essere rammolliti per riscaldamento e rimodellati.
- ❑ Possono sopportare alte temperature finché non decompongono.
- ❑ Si usano quando servono materiali resistenti alla temperatura, alle sostanze chimiche, alla corrente elettrica e al logoramento.



# Esempi di Polimeri Termoindurenti

- ❖ **Resine epossidiche ER** – buone proprietà adesive, forti quando rinforzate. Utilizzate soprattutto nell' incollaggio, laminazione, rivestimento di superficie e circuiti stampati.
- ❖ **Resina Melamina-formaldeide MF** – impermeabile, insapore, inodore, resistente ai graffi. Utilizzato in piani di lavoro, articoli per la tavola, bottoni, isolamento elettrico.
- ❖ **Resina Urea-Formaldeide UF** – materiale rigido, duro, fragile, buon isolante elettrico. Utilizzato in raccordi elettrici, carta e tessuti di rivestimento, adesivo per legno.
- ❖ **Resina Fenolo-Formaldeide PF** – duro, ma fragile, di colore scuro, finitura lucida. Resiste al calore. Utilizzato in parti per elettrodomestici, tappi bottiglie, maniglie di pentole.



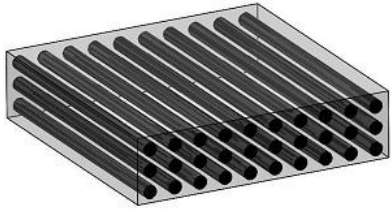
# Polimeri Elastomeri

- Una particolare famiglia di termoplastici
  - Hanno proprietà elastiche
  - Simili alla gomma nel modo di reagire alla pressione e nella loro consistenza
  - Sopportano forti deformazioni
  - Possono essere allungati più volte rispetto alla loro lunghezza.
- **Usi:**
    - ❖ **Guarnizioni di tenuta**
    - ❖ **Diaframmi per applicazioni meccaniche**
    - ❖ **Maniglie flessibili**
    - ❖ **Abbigliamento sportivo**
    - ❖ **Imbottiture di schiuma**



# Materiali Compositi

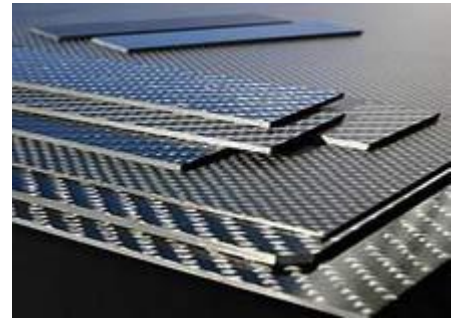
- ❑ Consistono di materiali costituiti da due o più sostanze.
- ❑ Presentano proprietà che non possono essere ottenute dalle singole sostanze.
- ❑ Un componente costituisce la **matrice** e l'altro o gli altri forniscono il **rinforzo**.
- ❑ Le proprietà finali dipendono dalla forma, dimensioni e distribuzione della sostanza di rinforzo.



## Esempi di Materiali Compositi

Utilizzo fibre di carbonio incorporate in una resina

*Carbon-fibre reinforced plastic CFRP*



- **Le proprietà finali sono:**
  - Bassa densità
  - Leggere/Resistenti
  - Elevata resistenza alla trazione
  - Migliore resistenza alla corrosione e all'usura rispetto a molte leghe metalliche.
- **Usate nel contesto dell'industria aerospaziale e delle automobili, e nella costruzione di oggetti con alte prestazioni meccaniche e di resistenza.**

# Reazioni di Polimerizzazione

## \* Reazione di addizione o di crescita della catena

Il peso molecolare aumenta con l'addizione successiva di monomeri al terminale reattivo della catena con conseguenti elevati pesi molecolari a basse conversioni di reazione.

## \* Reazione a stadi

I polimeri sono formati legando molecole di monomero che formano dimeri, trimeri e specie più elevate in modo graduale. Le specie più abbondanti reagiscono, e si ottengono alti pesi molecolari solo per conversioni > 99%.

## Conversione di Polimerizzazione P

$$P = (M_0 - M_t) / M_0 = 1 - M_t / M_0$$

$M_0$  = Numero iniziale di molecole di monomero

$M_t$  = Numero al tempo t di molecole di monomero



# Reazioni di Polimerizzazione

Due maggiori classi di meccanismo di polimerizzazione

## ❑ Crescita a Catena

1. Radicalica ( $\cdot$ )
2. Cationica (+)
3. Anionica (-)



**Poli-addizione**



## ❑ Crescita a Stadi

1. Condensazione

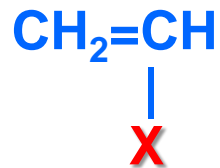


**Poli-condensazione**



# Reazioni di Poli-Addizione

I monomeri di partenza sono **mono-olefinici** o **poli-olefinici**



**X = H**

**= CH<sub>3</sub>**

**= Cl**

**= CH<sub>3</sub>COO**

**= OR**

**= COOH**

**= CN**

**= Ar**

**Etilene**

**Propilene**

**Vinilcloruro**

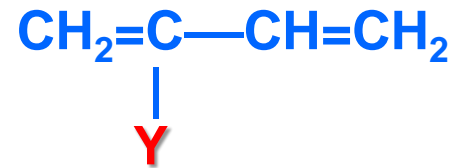
**Vinilacetato**

**Viniletere**

**Acido Acrilico**

**Acrilonitrile**

**Stirene**



**Y = H**

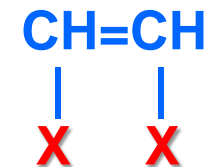
**= CH<sub>3</sub>**

**= Cl**

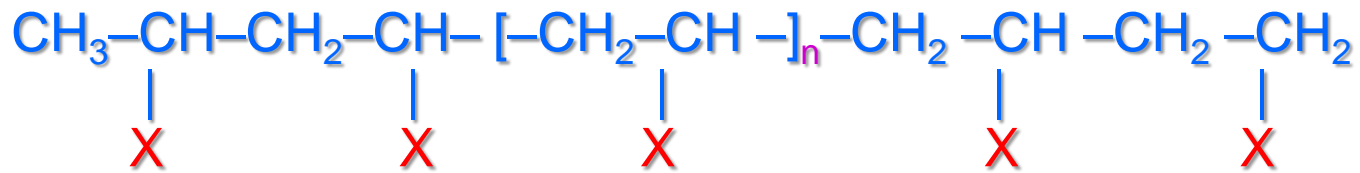
**Butadiene**

**Isoprene**

**Cloroprene**



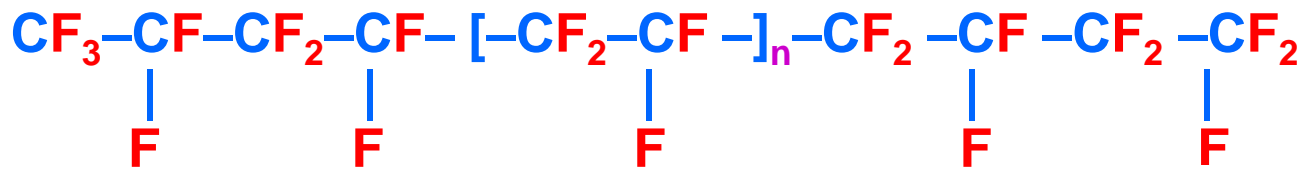
# Polimeri di Poli-Addizione



X = Cl (PVC)



X = F; Teflon (Politetrafluoro etilene)



# Classificazione Plastica per il Recupero

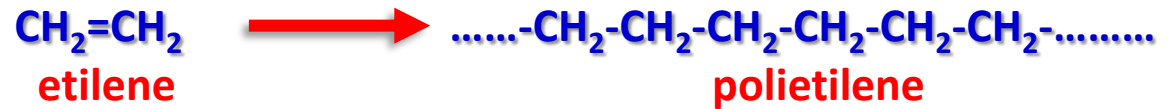
Ci sono circa 50 diversi gruppi di materie plastiche, con centinaia di varietà diverse. È stato sviluppato un codice di identificazione (Simboli) per aiutare i consumatori a identificare e ordinare i principali tipi di plastica riciclabile.

Nel 1988 viene introdotto dalla Society of the Plastics Industry, il SPI Code che è usato internazionalmente.



# Il Polietilene (PE)

Il **PE** è un polimero termoplastico, molto semplice costituito da solo carbonio (**C**) e idrogeno (**H**) ottenuto per polimerizzazione del monomero **etilene**.



Il PE è il polimero maggiormente prodotto ed usato al mondo. Ha buone caratteristiche meccaniche, è trasparente alla luce, leggero, flessibile, termo-saldabile, bassa conducibilità elettrica e termica, impermeabile all'acqua e a molecole polari, ottima resistenza chimica ad acidi e basi, biologicamente inerte.



**Disperso nell'ambiente non rilascia sostanze inquinanti. Essendo termoplastico e abbastanza stabile è facilmente riciclabile più volte.**



Se non contaminato da altre sostanze quando brucia ha un potere calorifico circa il doppio del legno, producendo solo acqua e ossidi di carbonio (CO e CO<sub>2</sub>).

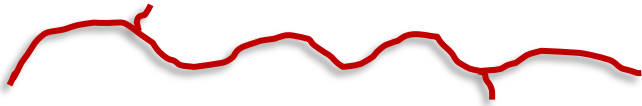


HDPE

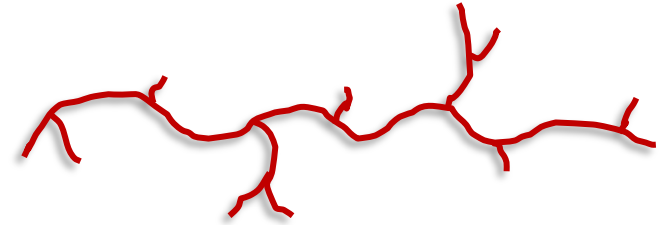
# Il Polietilene (LDPE & HDPE)



In base alla sua struttura macromolecolare il **PE** presenta differenti caratteristiche. In base **al grado di ramificazione** si ottengono materiali con diversa densità, che trovano diversi usi.



High-density polyethylene



Low-density polyethylene

## Usi

### High-Density Polyethylene (HDPE)

Usato per bottiglie di latte e bottiglie per prodotti della casa. Tubi e raccordi per acqua.



### Low-Density Polyethylene (LDPE)

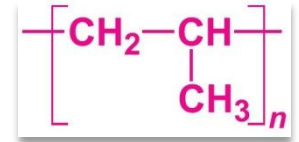
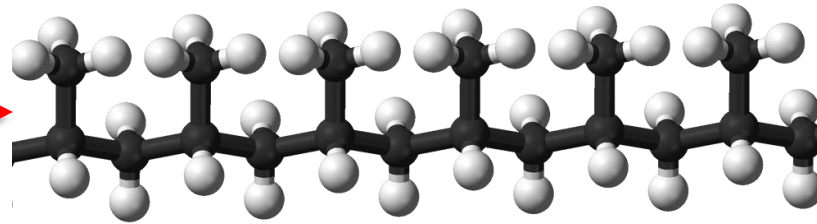
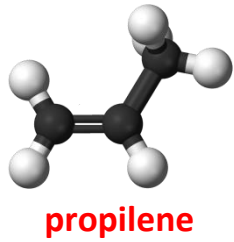
Usato per fare tappi, sacchetti per indumento e sacchetti di plastica (shoppers), sacchi spazzatura. Nell'imballaggio flessibile. Pellicole e film per contenitori (distribuzione e vendita beni alimentari e di consumo).



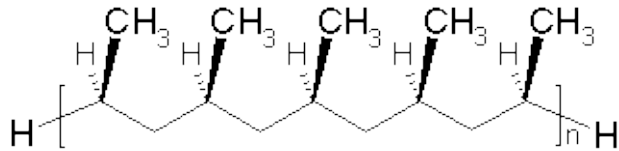
# Il Polipropilene (PP)



Il **PP** è un polimero termoplastico ottenuto dal monomero **propilene** per poliaddizione.



# Il Polipropilene (PP)



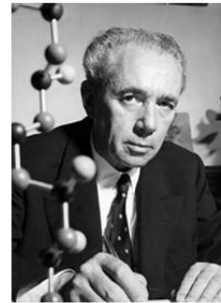
## il polipropilene isotattico

La produzione del PP isotattico venne iniziata dall'industria italiana **Montecatini** (poi **Montedison**) e riscosse un ampio successo.



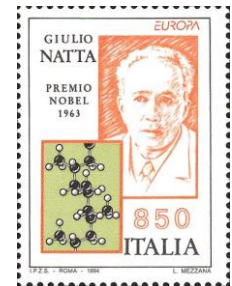
**Moplen**

Giulio Natta sin dal 1954 lavorava con catalizzatori quali **TiCl<sub>4</sub>** e **ZrCl<sub>4</sub>** sul propene. Riesci a polimerizzare il propene usando il sistema catalitico **TiCl<sub>3</sub>/AlEt<sub>3</sub>**; il polipropilene sintetizzato era selettivamente isotattico.



Giulio Natta (1903 - 1979)

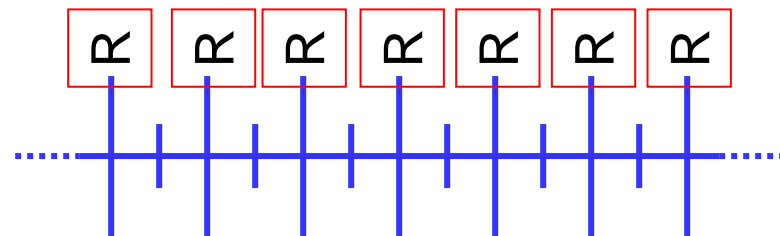
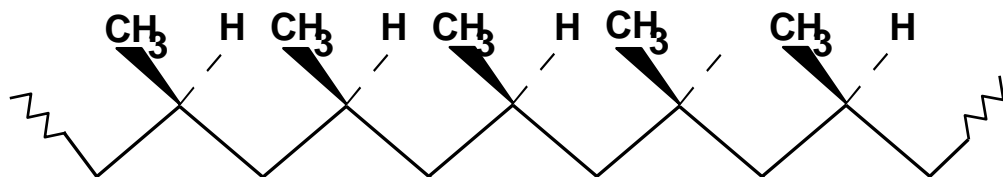
Imperia, 26 febbraio 1903  
Nasce Giulio Natta, ricercatore chimico, docente e accademico. I suoi studi sui composti macromolecolari lo portarono alla sintesi del polipropilene (divenuta una materia plastica fra le più comuni) e per cui conseguì il premio Nobel nel 1963.



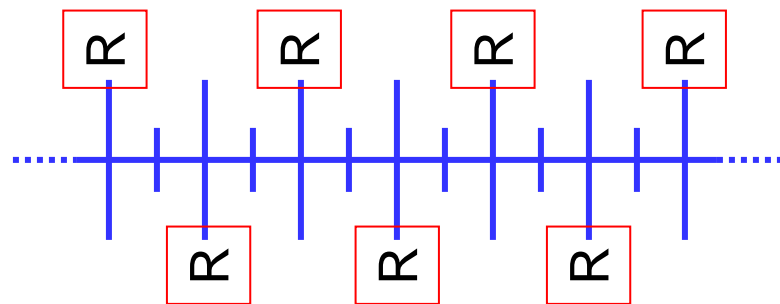
La Montedison produceva anche polipropilene per uso tessile in forma di fiocco, chiamato commercialmente **Meraklon** e in forma di filo continuo, normalmente usato per la fabbricazione di tappeti e di moquette, con il nome commerciale di **Neofil**.



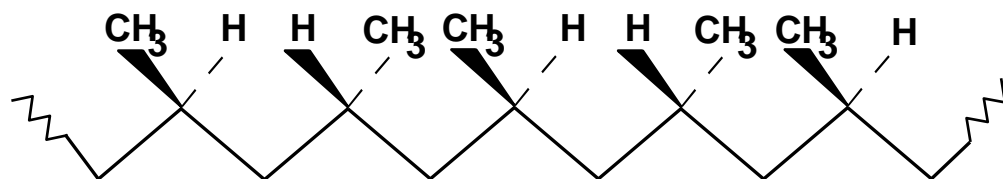
# Isotattico & Sindiotattico



isotattico



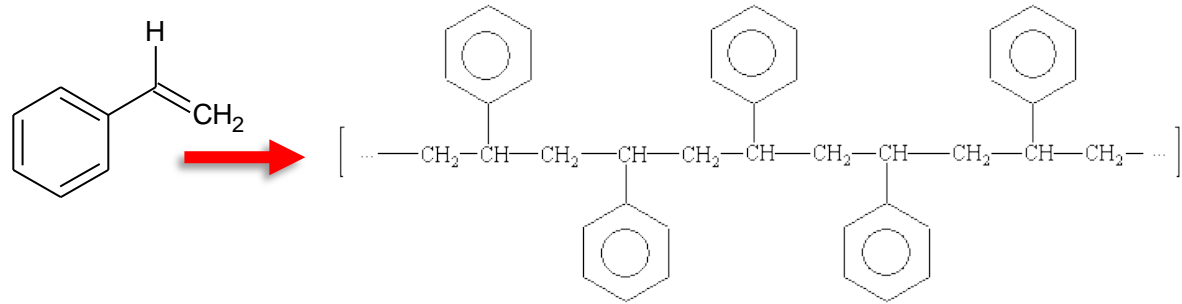
sindiotattico



# Il Polistirene (PS)

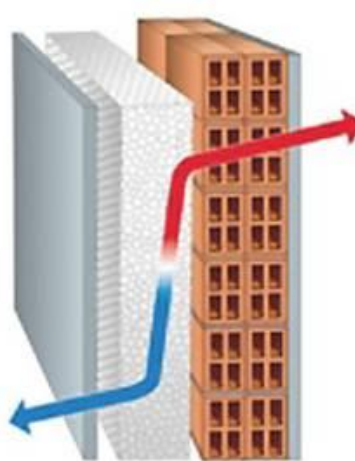


Il **PS** è un polimero termoplastico, ottenuto per polimerizzazione del monomero **stirene (Stirol)**, per reazione di poliaddizione.



Chimicamente inerte rispetto a molti agenti corrosivi, è solubile nei solventi organici come: diclorometano, cloroformio, trielina, acetone benzene e toluene.

Il **PS espanso** trova ampio uso nella produzione di imballaggi. Inoltre, essendo un isolante termico è molto usato in edilizia per l'isolamento degli edifici e nella realizzazione di pannellature isolanti "**isolamento a cappotto**"



# Altre Plastiche

Il codice **SPI** di **7** viene utilizzato per indicare tipi diversi di plastica che non sono definiti dagli altri sei codici e che attualmente non vengono riciclati.



**Nylon**

**Polimeri come:** il policarbonato, i poliacrilati, il nylon e il polilattide sono inclusi in questa categoria. Questi tipi di materie plastiche sono difficili da riciclare.



**PC**

Il policarbonato (**PC**) viene utilizzato nei biberon, bottiglie d'acqua di grandi dimensioni, compact disc, e contenitori di stoccaggio medici.

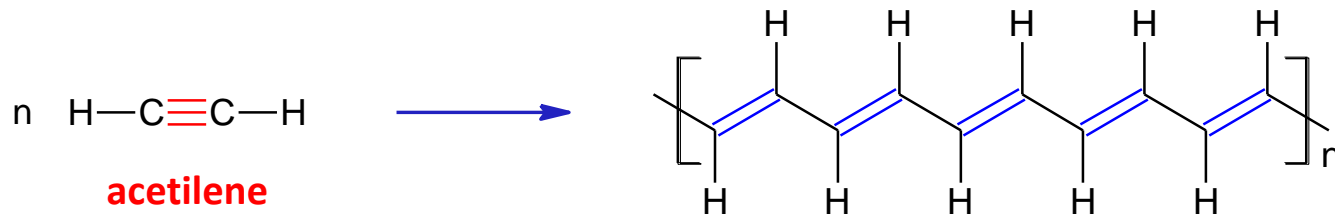
Plastica riciclata, appartenente a questa categoria viene usata nella termovalorizzazione.



**PC**

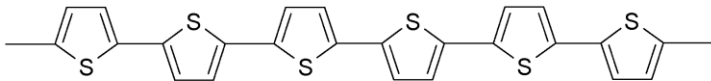
# Poliacetilene (Polietino)

- ❖ Si ottiene dalla polimerizzazione per poliaddizione dell'etino (o acetilene).
- ❖ La catena polimerica è costituita dall'alternanza di legami singoli e doppi carbonio-carbonio, ha la struttura di un **polidiene coniugato**.
- ❖ È un esempio di polimero elettricamente conduttivo.

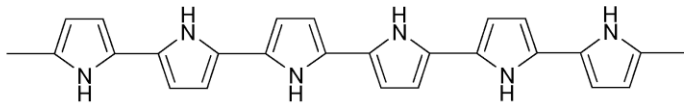


**trans poliacetilene**

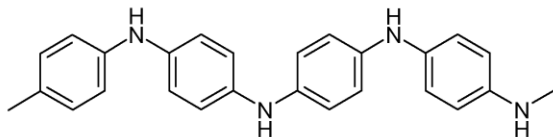
## Altri polimeri conduttivi



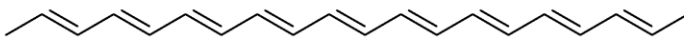
Polythiophene



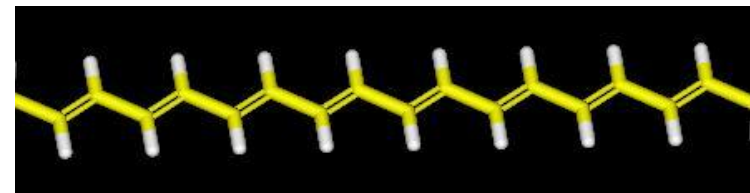
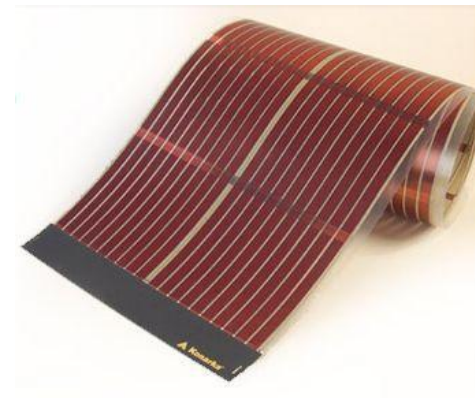
Polypyrrole



Polyaniline

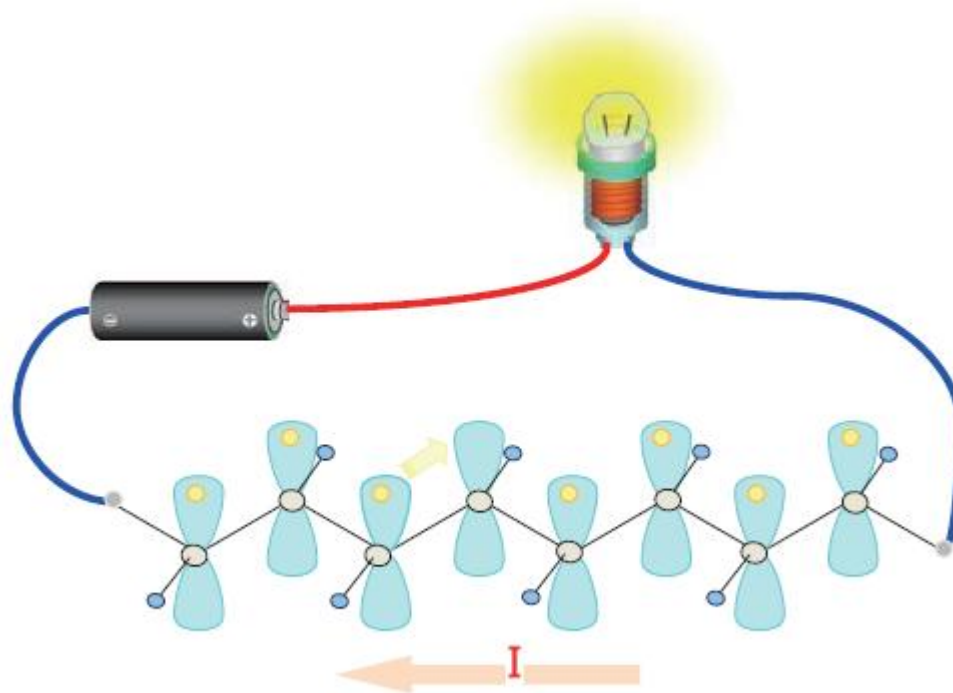


Polyacetylene



# Proprietà del Poliacetilene

- Il poliacetilene presenta elettroni delocalizzati come nel benzene.
- A causa di questa libertà di movimento gli elettroni possono condurre elettricità quando si applica una differenza di potenziale.
- Se il polimero viene drogato con Iodio ( $I_2$ ) la sua conduttività aumenta di un fattore  $10^9$ .
- È utilizzato per esempio come materiale antistatico in altoparlanti ad alte prestazioni.



# Reazioni di Poli-Condensazione

1. Tale processo polimerico avviene quando reagiscono **molecole polifunzionali** uguali o differenti.
2. A seguito della formazione del legame, vengono espulse piccole molecole come ad esempio: **H<sub>2</sub>O, HX, NH<sub>3</sub>, CH<sub>3</sub>OH, ecc.**



**Le proteine sono un esempio di copolimeri di policondensazione, dove**



# Polimeri di Poli-Condensazione



Alcuni Esempi:

Polifenil eteri

Poliesteri

-Saturi

-Insaturi

-Policarbonati

Poliammidi

-Resine ureiche

-Poliuretani

Resine Chetoniche

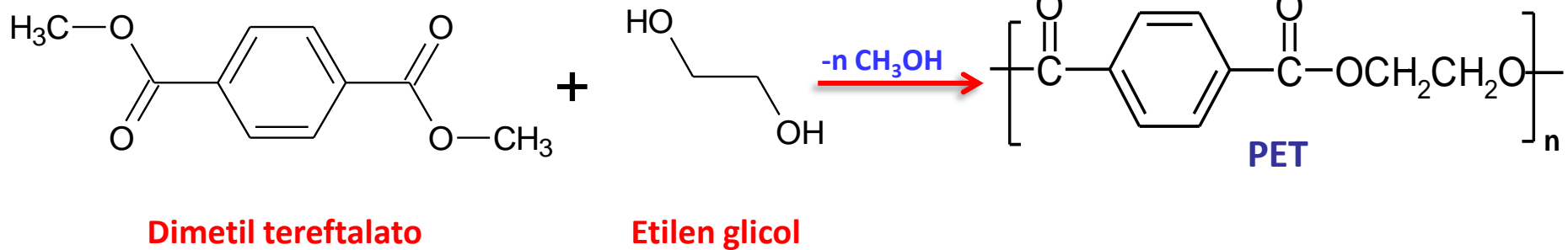
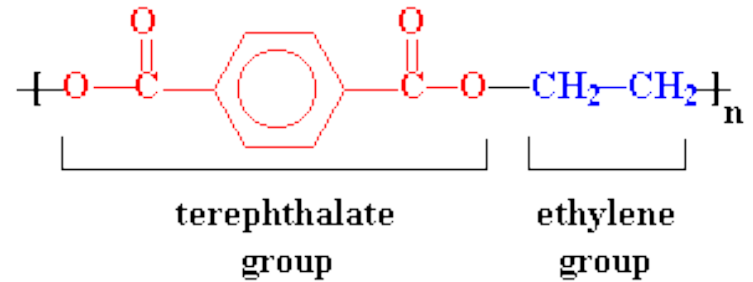
Resine Epossidiche

Resine Siliconiche



# Il PET un Polimero di Poli-Condensazione

Il **PET** appartiene alla famiglia dei poliesteri, è una resina termoplastica. È un copolimero ottenuto formalmente per policondensazione tra due monomeri: **glicole etilenico** e **acido tereftalico**



Il **PET** (o PETE) è ormai diventato il materiale polimerico maggiormente impiegato nel confezionamento alimentare. Le caratteristiche di: resistenza, leggerezza, trasparenza, lavorabilità, bassa permeabilità all'ossigeno, bassi costi di produzione, hanno permesso al **PET** di sostituire il **vetro**.



# Il PET un Polimero Riciclabile



È la plastica maggiormente riciclata sia meccanicamente che chimicamente

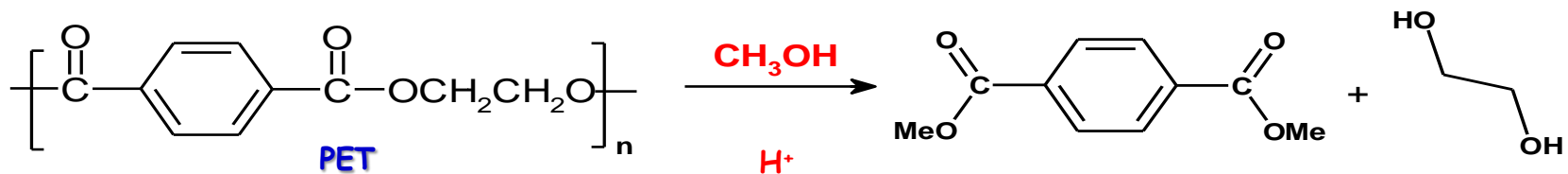
- ❑ Bottiglie per acqua e bevande, bottiglie per oli vegetali, involucri per alimenti, tessuti (*Dacron*), ecc. sono esempi di oggetti costituiti dal polimero PET.



# Riciclo Chimico del PET

Il Riciclo Chimico (**depolimerizzazione**) si basa sull'ottenimento dei reagenti monomerici presenti nel materiale polimerico. Per il **PET**, oltre al riciclo meccanico, sono stati messi a punto diversi processi per il riciclo chimico. Uno di questi è la reazione di metanolisi (*è una reazione di transesterificazione inversa alla sintesi*):

## Reazione di metanolisi

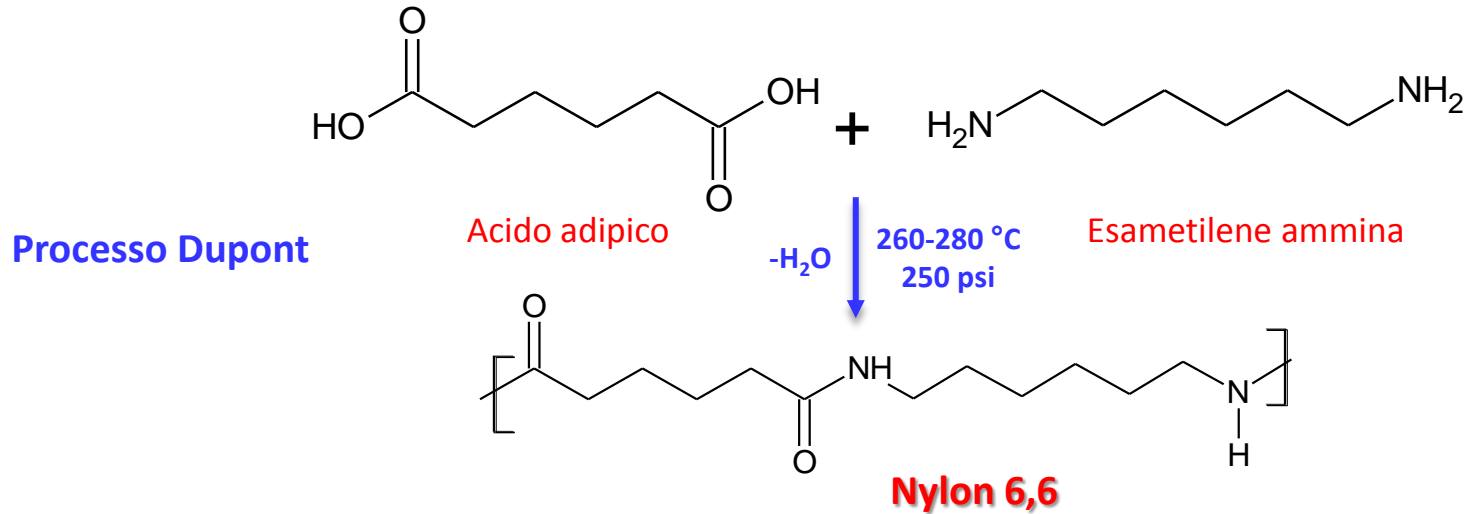


I Monomeri ottenuti dal processo sono successivamente purificati, per distillazione il liquido e cristallizzazione il solido. Questi materiali possono essere utilizzati per produrre nuovi oggetti di PET.

**Il riciclo chimico (o depolimerizzazione) è praticato su polimeri che si ottengono per reazioni di policondensazione come: poliesteri, poliammidi.**

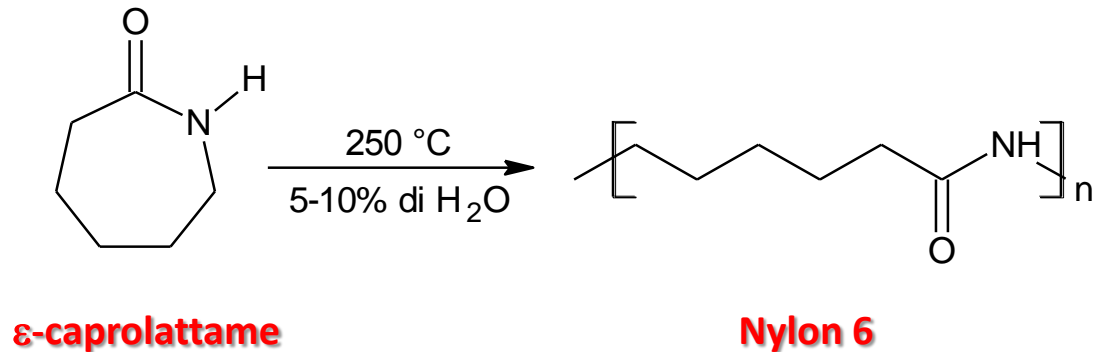
# Poliammide: Nylon

Un altro esempio di polimero di policondensazione, è una poliammide. Si utilizzano i seguenti processi per ottenere il Nylon:



**Processo BASF**

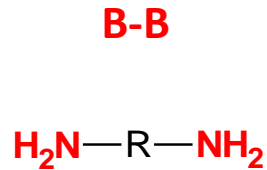
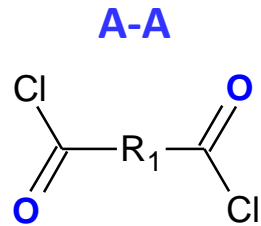
Auto-condensazione o polimerizzazione per apertura di anello



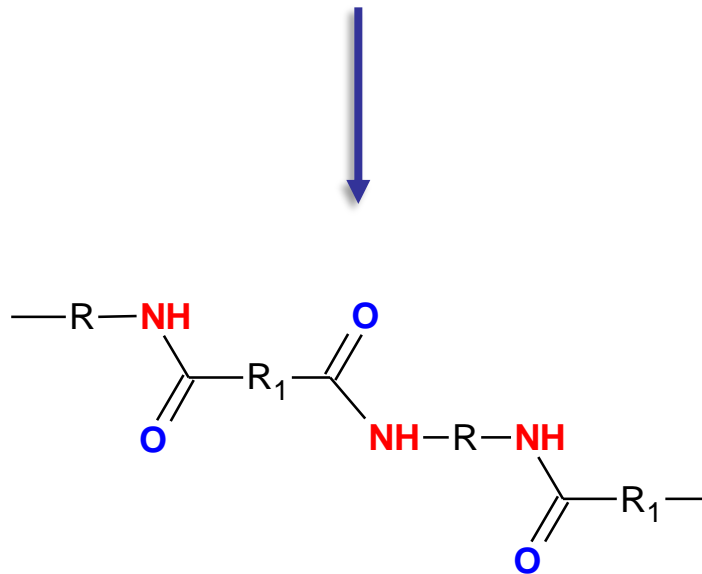
# Polimerizzazione di Crescita a Stadi

- ✓ Molti monomeri
- ✓ Tutti sono reattivi

Conversione molare  $P = 1 - [\text{COCl}]/[\text{COCl}]_0$



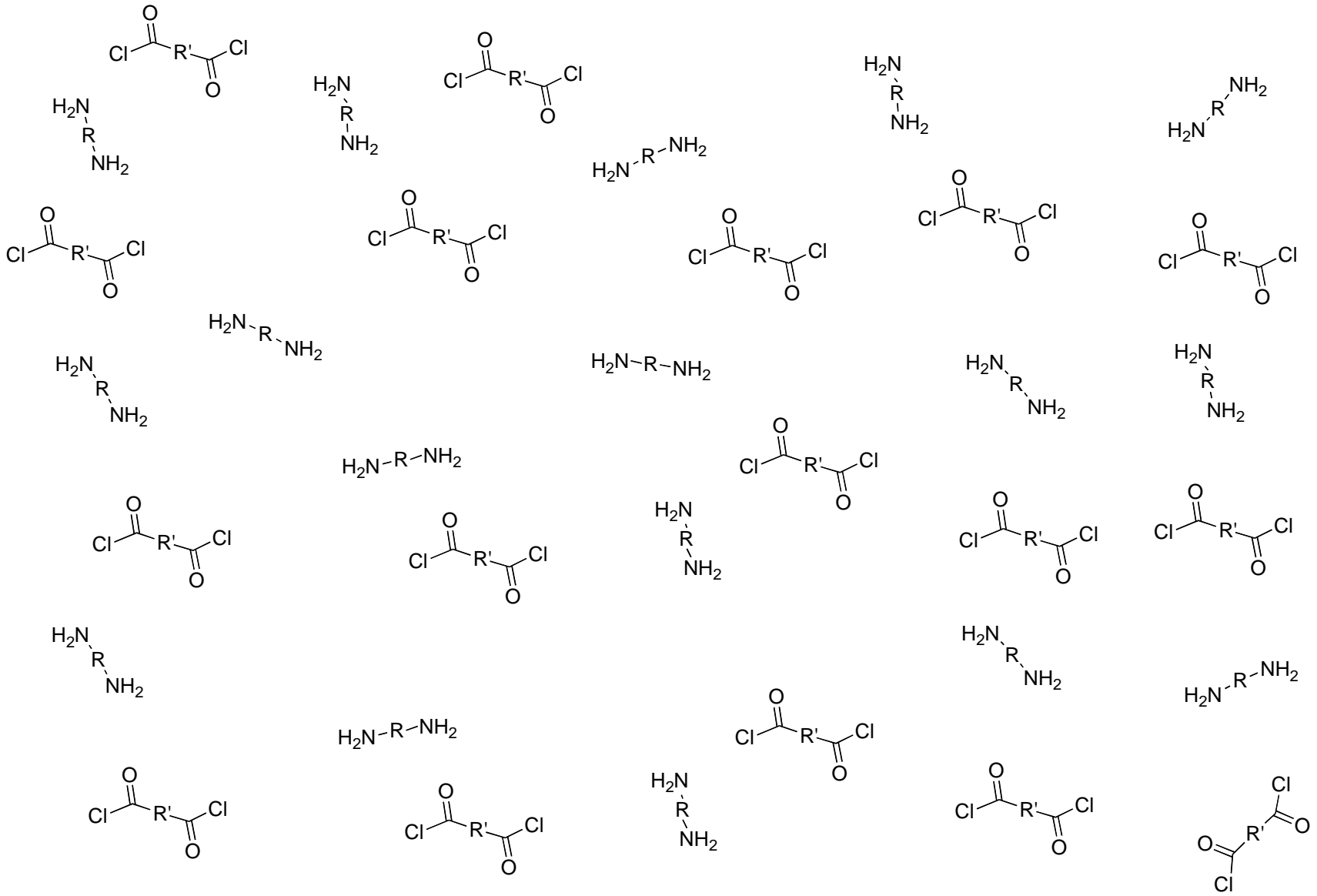
Ogni reagente ha due funzioni uguali e quindi può formare due legami



Dalla reazione del dicloruro di acile con una diammina si ottiene il legame ammidico quindi una poliammide

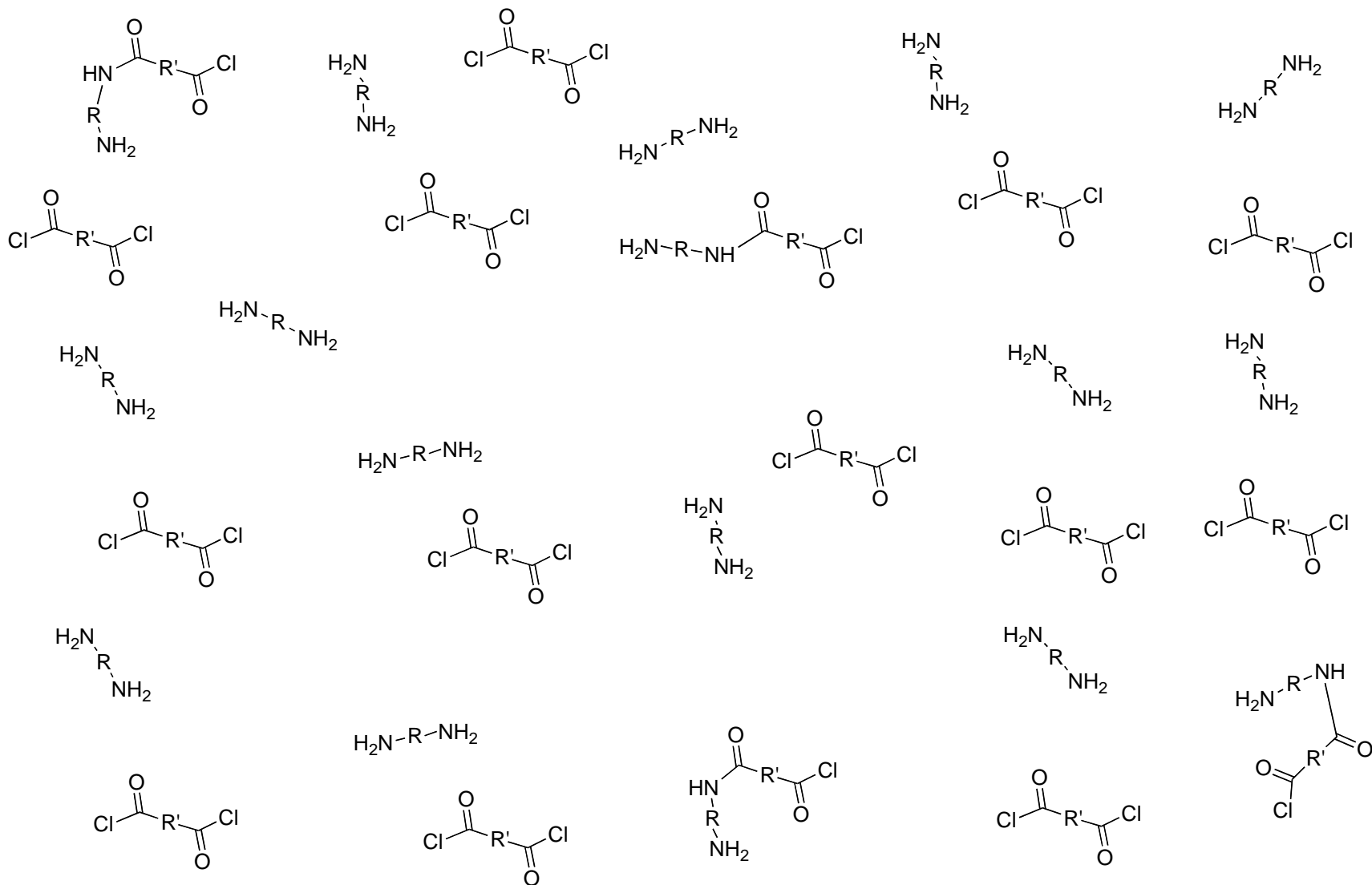
# Polimerizzazione di Crescita a Stadi

Al tempo  $t = 0$ , 34 gruppi COCl;  $P = 1 - [\text{COCl}]/[\text{COCl}]_0 = 0$  conversione



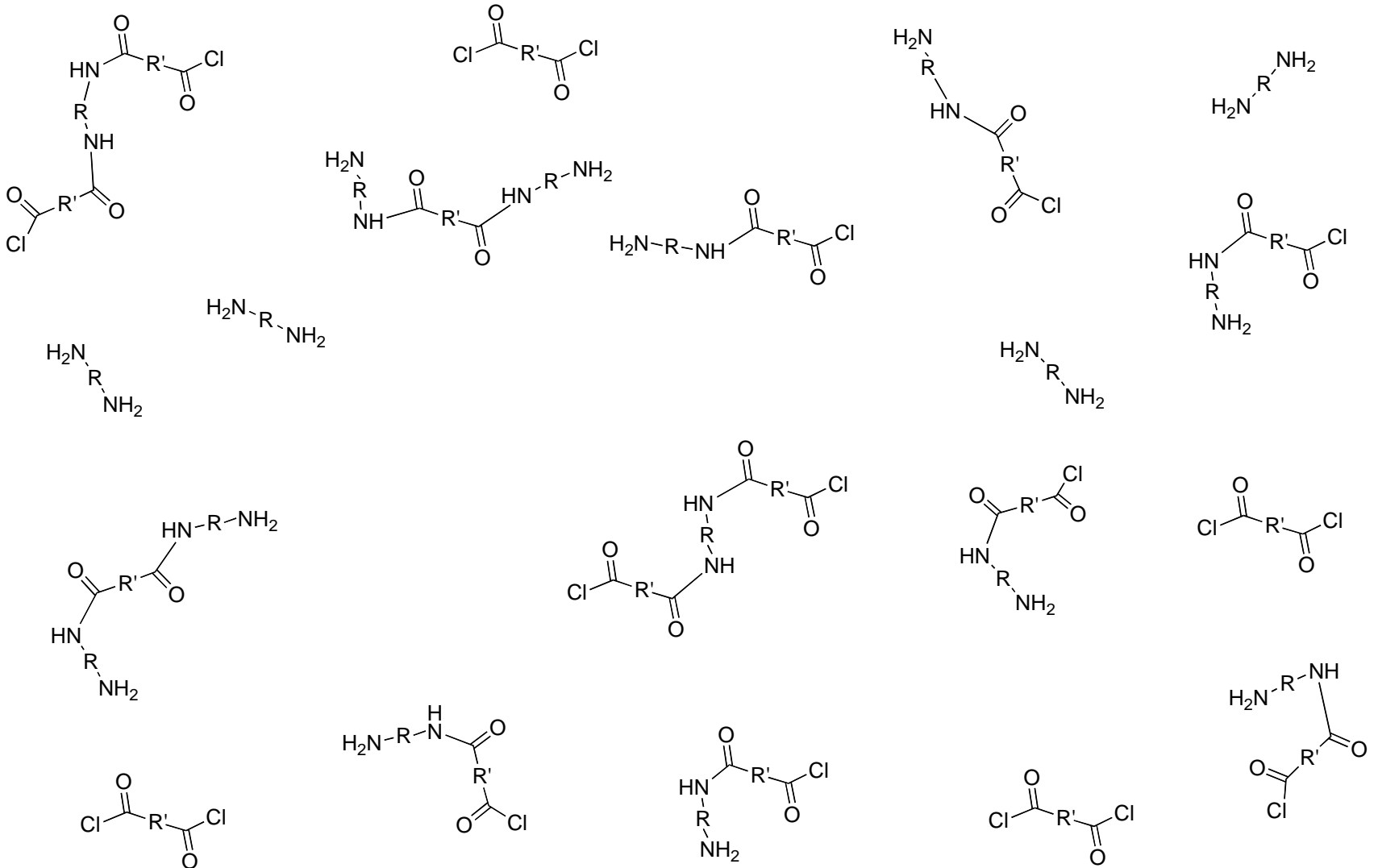
# Monomeri e Dimeri

30 Gruppi reattivi  $P = 1 - [\text{COCl}]/[\text{COCl}]_0 = 1 - 30/34 = 0.11$



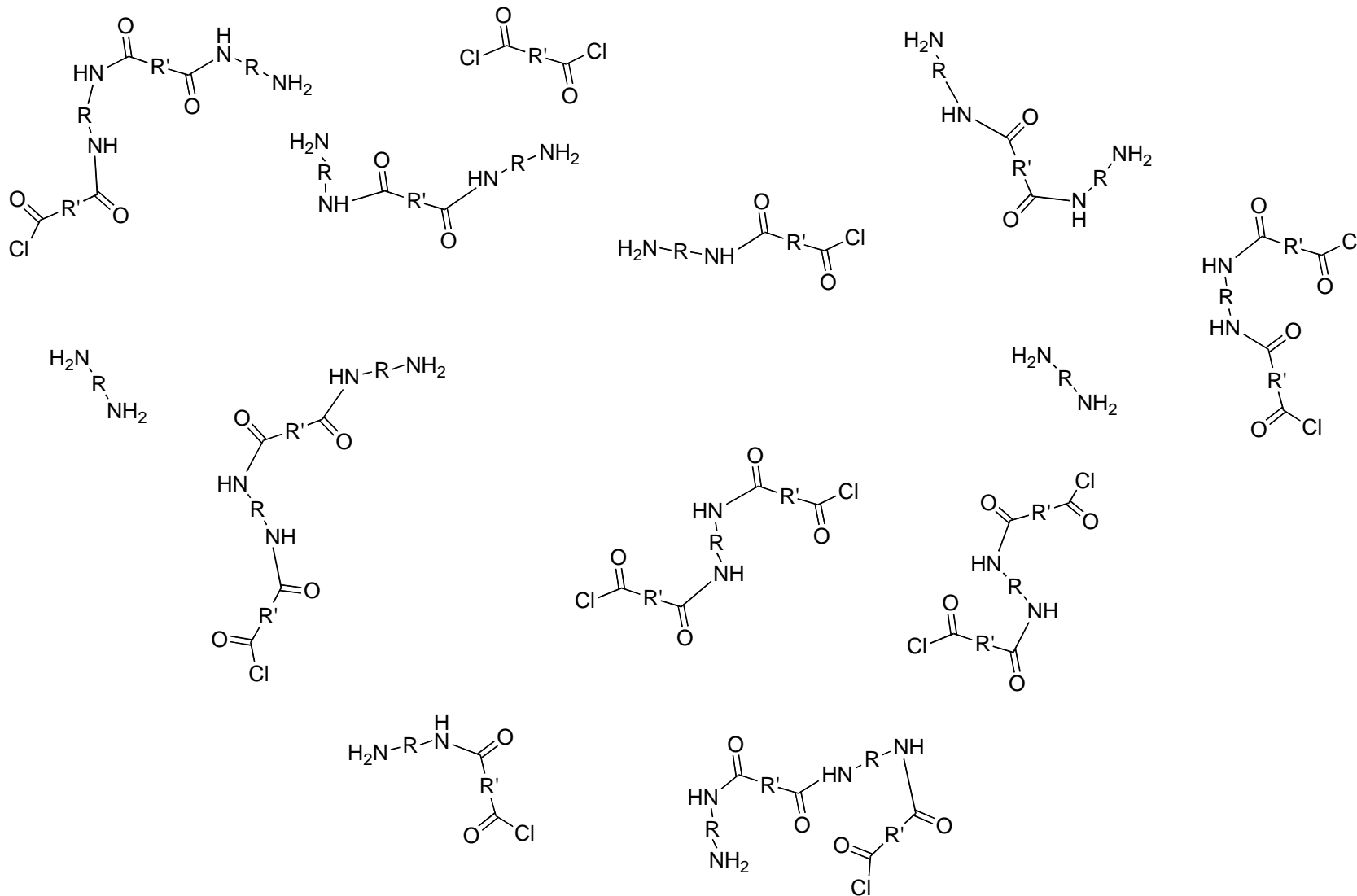
# Monomeri, Dimeri e Trimeri

19 Gruppi reattivi;  $P = 1 - [\text{COCl}]/[\text{COCl}]_0 = 1 - 19/34 = 0.44$



# Monomeri, Dimeri, Trimeri e tetrameri

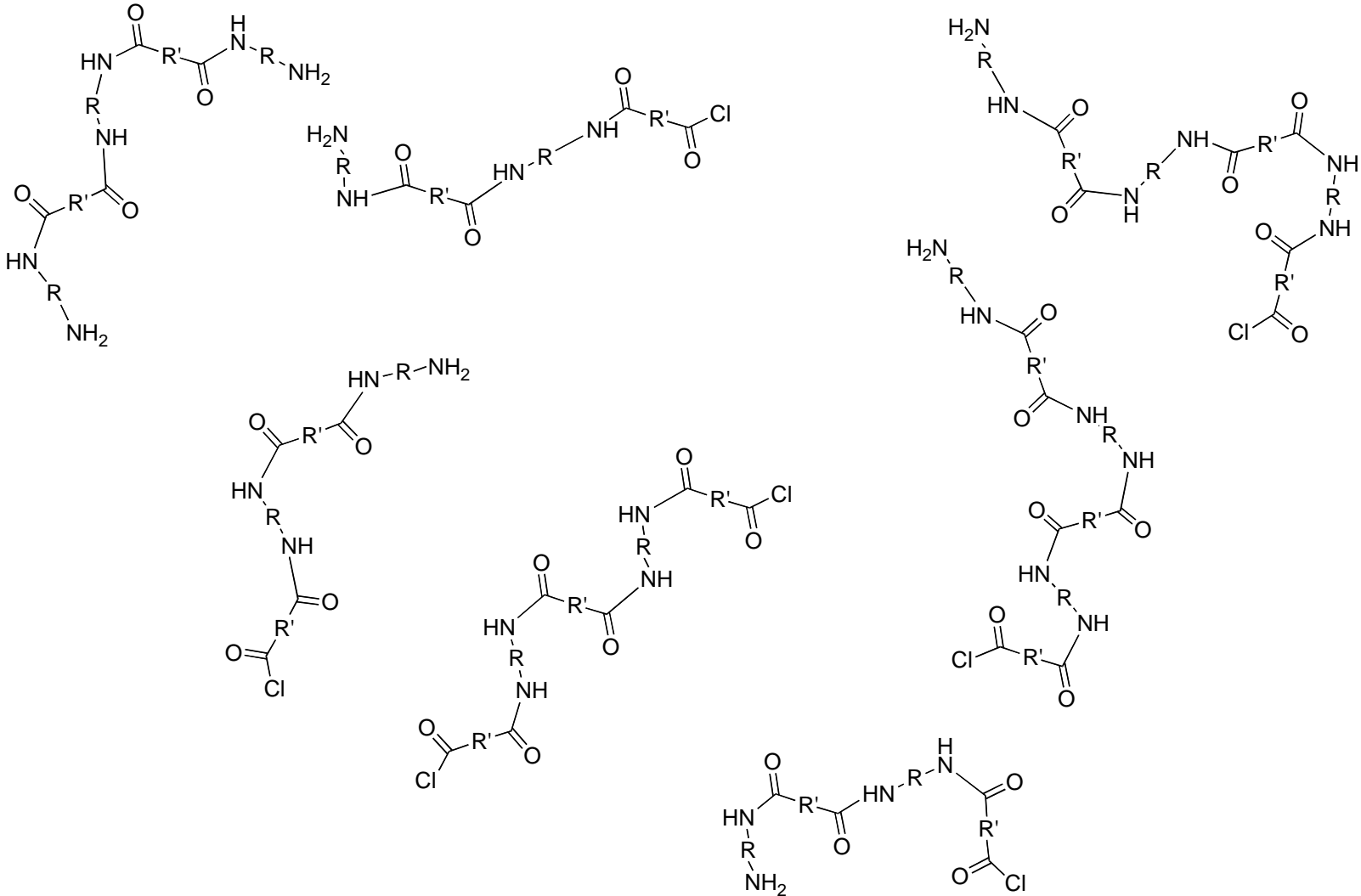
13 Gruppi reattivi;  $P = 1 - [\text{COCl}]/[\text{COCl}]_0 = 1 - 13/34 = 0.62$





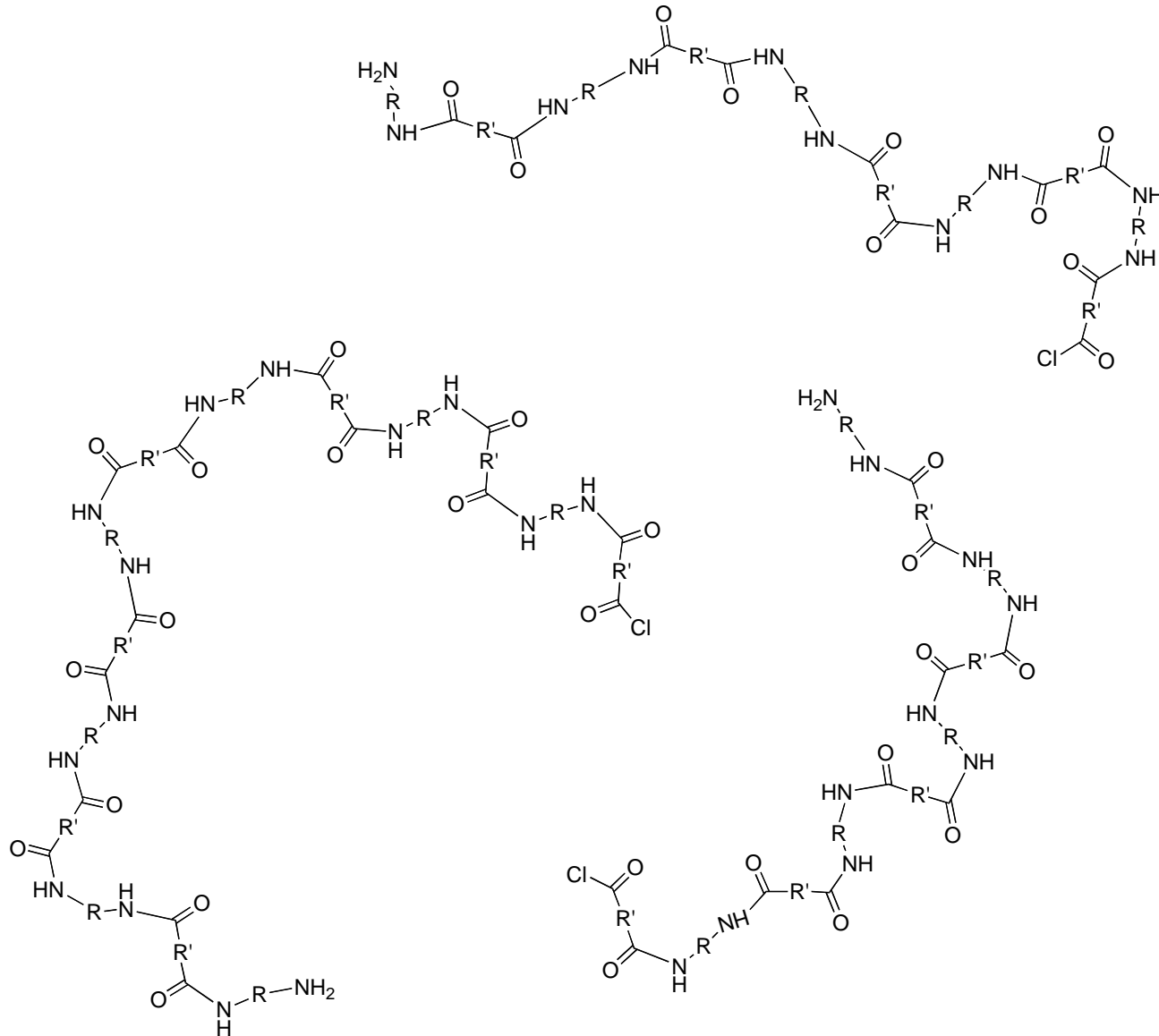
# Dimeri, Trimeri, Tetrameri e Oligomeri

7 Gruppi reattivi;  $P = 1 - [\text{COCl}]/[\text{COCl}]_0 = 1 - 7/34 = 0.80$



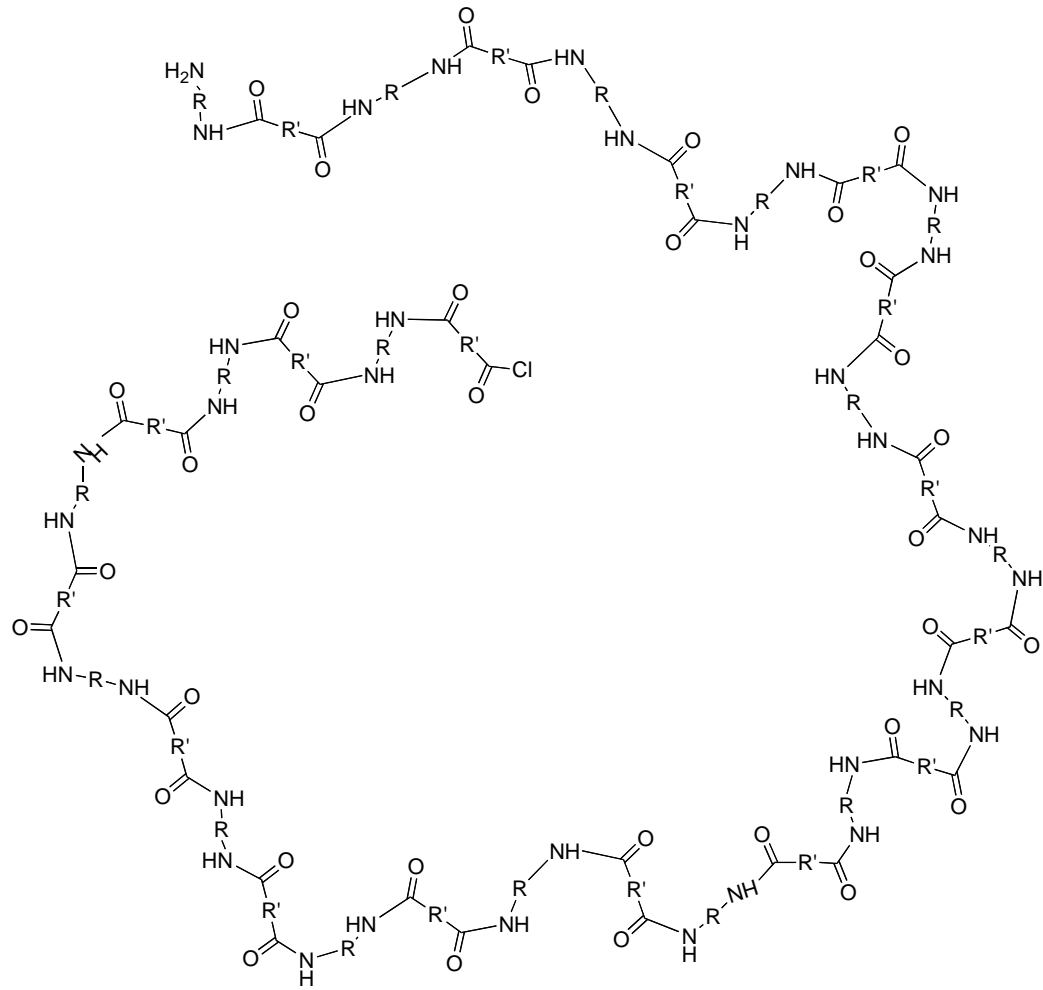
# Oligomeri

3 Gruppi reattivi;  $P = 1 - [\text{COCl}]/[\text{COCl}]_0 = 1 - 3/34 = 0.91$



# Oligomero, Polimero

1 Gruppo reattivo;  $P = 1 - [\text{COCl}]/[\text{COCl}]_0 = 1 - 1/34 = 0.97$



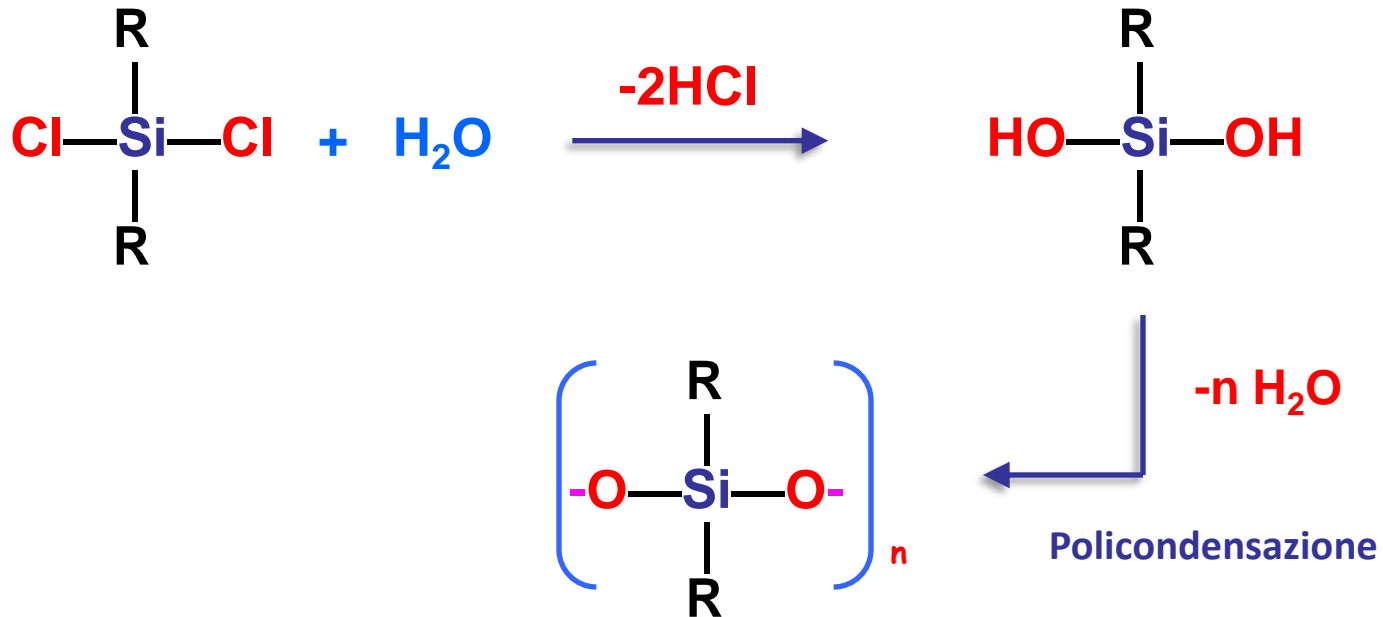
# Resine Siliconiche

## Siliconi (o polisilossani)

I siliconi sono caratterizzati dalla presenza nella catena polimerica della sequenza:



Silossani



# Siliconi: Proprietà

Le caratteristiche di questi polimeri dipendono fondamentalmente dal monomero di partenza, cioè dal numero e natura del gruppo alchilico legato al silicio (**R**) e dalle condizioni di polimerizzazione: alti pesi molecolari o bassi pesi molecolari.



Si possono ottenere in forma di:

1. Oli (catene lineari con bassi PM)
2. Resine (catene interlacciate)
3. Elastomeri (catene lineari con alti PM)



Sono:

- Idrorepellenti
- Stabili al calore e al freddo (bassa dilatazione)
- Resistenti all'ossidazione ( $O_2$  ed altri ossidanti)
- Chimicamente molto inerti in senso generale

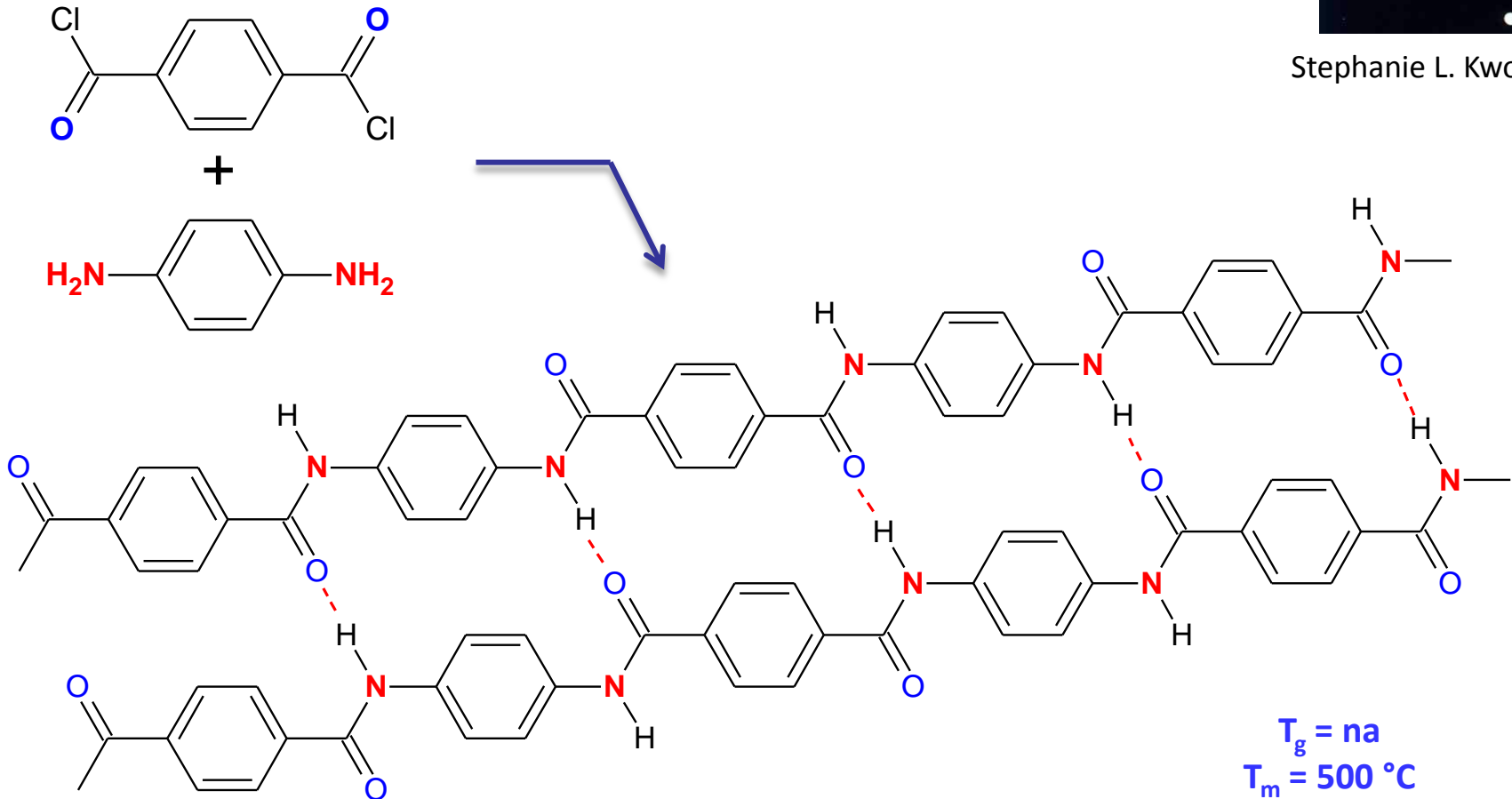


# Polimeri particolari: Il Kevlar

- IL Kevlar è una poliammide aromatica realizzata nel 1965 presso la Dupont (Stephanie Louise Kwolek)
- É un materiale estremamente resistente e forte per l'impaccamento delle catene lineari tra di loro per l'instaurarsi di legami idrogeno.



Stephanie L. Kwolek



# Applicazioni del Kevlar

- È resistente al calore e al fuoco, per tale motivo viene utilizzato nei vestiti indossati dai vigili del fuoco.
- Per la sua resistenza meccanica è utilizzato nei corpetti antiproiettile e contro le lame di coltelli.
- Presenta una elevata resistenza all'abrasione per questo motivo è usato nelle pastiglie dei freni e nelle guarnizioni della frizione e nel tessuto delle tute di protezione dei motociclisti.
- Essendo leggero ma resistente viene utilizzato come rinforzo in pneumatici e per fare corde e cavi.



# Tecniche di Polimerizzazione

## Le principali e più comuni:

- Polimerizzazione in Bulk-senza solvente (monomeri e catalizzatore)
- Polimerizzazione in soluzione (presenza di solvente)
- **Polimerizzazione in sospensione (particelle micron-millimetriche)**
- **Polimerizzazione in emulsione (particelle sub-microscopiche)**

## Tecniche meno usuali:

- Polimerizzazione allo stato solido (monomero in fase solida)
- Polimerizzazione in fase gassosa
- Polimerizzazione al plasma

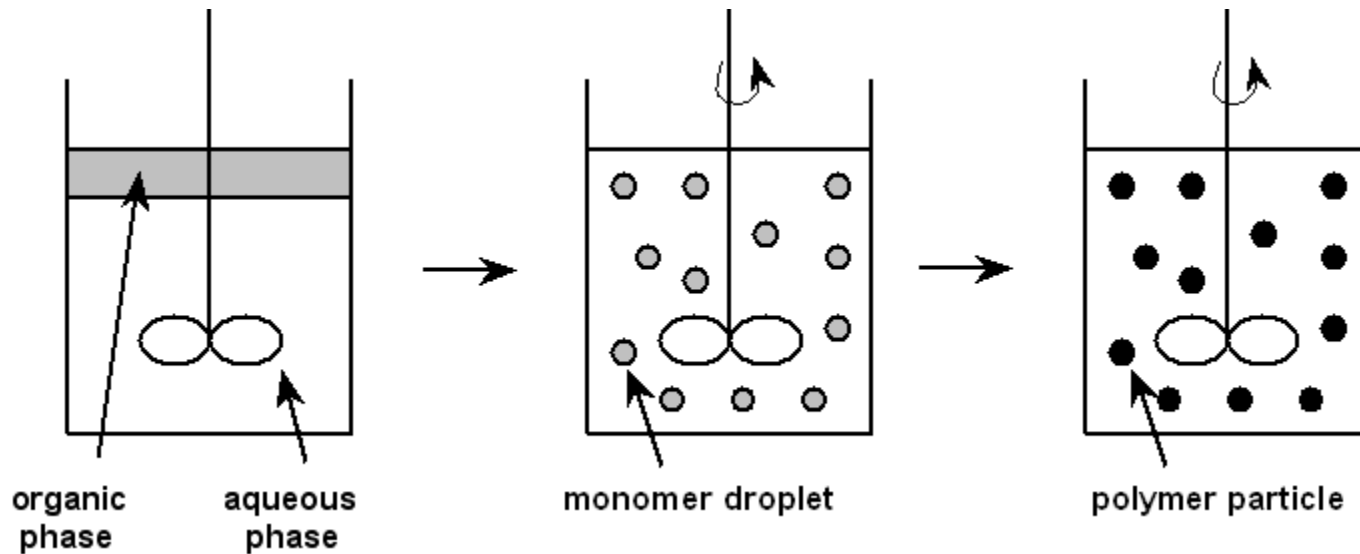
## **Fattori importanti nella scelta**

- Sviluppo e smaltimento del calore della reazione
- Trasferimento di massa
- Viscosità del sistema (gel & vetrificazione)
- Distribuzione Pesi Molecolari



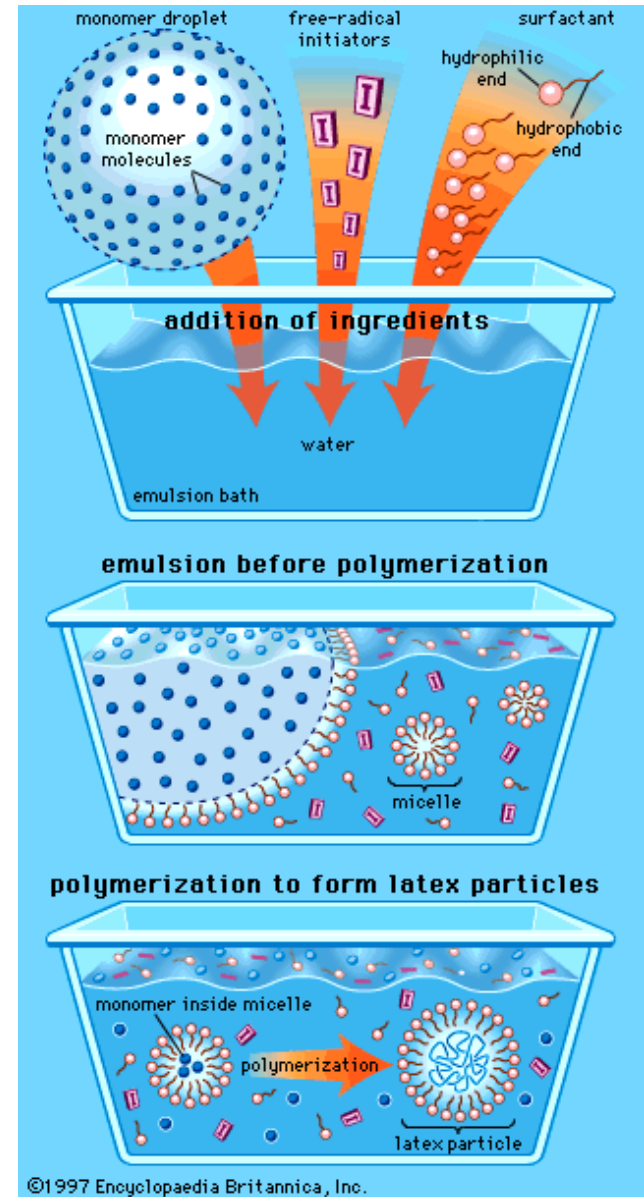
# Polimerizzazione in sospensione

- ❖ Goccioline di Monomero, insolubile in acqua, disperse tramite energica agitazione in soluzione acquosa.
- ❖ Il catalizzatore (*iniziatore di polimerizzazione*) è solubile nelle goccioline del materiale organico.
- ❖ Non si usano solventi organici.
- ❖ Il polimero può essere recuperato alla fine per filtrazione della soluzione acquosa.



# Polimerizzazione in emulsione

- ❖ Le goccioline di monomero vengono solubilizzate in acqua ad opera del **tensioattivo** (emulsione).
- ❖ Il catalizzatore (*iniziatore di polimerizzazione*) è solubile in mezzo acquoso.
- ❖ Non si usano solventi organici.
- ❖ Alla fine la soluzione diventa lattescente, si formano particelle sub-microscopiche di dimensioni controllabili.
- ❖ Il polimero può essere recuperato alla fine per filtrazione o centrifugazione.



Grazie

Domande?

