

VETRO

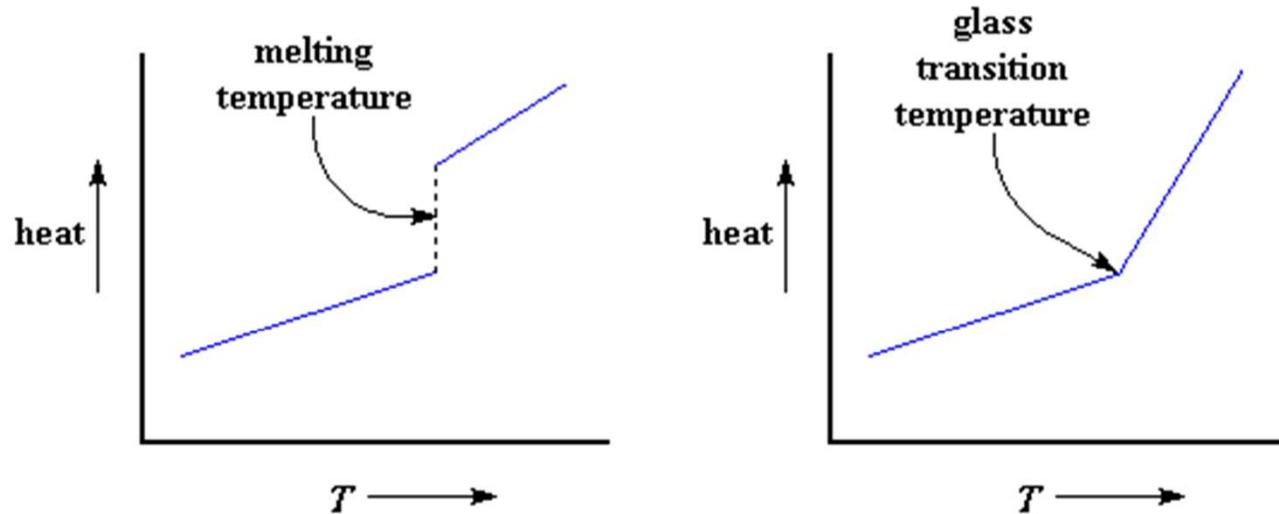
Ottenuto per fusione e raffreddamento molto più veloce della cristallizzazione

Stato **amorfo o liquido con elevata viscosità** che lo rende rigido

Le molecole sono distanti 1 nm come nei liquidi ma non possono muoversi



TEMPERATURA DI TRANSIZIONE VETROSA



Grafici calore-temperatura per un polimero cristallino (a destra) ed uno amorfo (a sinistra).

Quando un composto cristallino solidifica presenta una brusca diminuzione di calore ad una determinata T_f

Liquido che raffreddandosi si trasforma in vetro presenta solo una lieve e continua diminuzione di calore a **T_g (Temperatura di transizione vetrosa, trasformazione cinetica)**

Al di sotto di T_g un materiale si comporta da solido vetroso, al di sopra da materiale amorfo gommoso

Vetro è formato di **silicati** in cui ogni tetraedro è leggermente spostato dalla sua posizione di equilibrio

Deformazione dell'angolo Si-O-Si → stato amorfo

Principali tipi di vetri e loro composizioni (% in peso).

| | SiO ₂ | Na ₂ O | K ₂ O | CaO | MgO | BaO | PbO | B ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ |
|-------------------------|------------------|-------------------|------------------|-------|-----|-----|-----|-------------------------------|--------------------------------|
| Vetro di silice | 99,5 | | | | | | | | |
| 96% di silice (Vycor) | 96,2 | | | | | | | 3 | 0,3 |
| Vetro sodico-calcico | 71÷73 | 12÷14 | | 10÷12 | 1÷4 | | | | 0,5÷1,8 |
| Silicato di piombo | 63 | 7,1 | 7 | 0,3 | 0,2 | | 21 | | 1 |
| Silicato ad alto piombo | 35 | | 7,2 | | | | 58 | | |
| Borosilicato | 80,5 | 4 | | | | | | 13 | 2 |
| Allumino-boro-silicato | 74,7 | 6,4 | 0,5 | 1 | | 2,1 | | 9,6 | 5,6 |
| Alluminosilicato | 57 | 1 | | 5,5 | 12 | | | 4 | 20,5 |

Elementi di base per il vetro

- **Vetrificanti**

Elementi che compongono il reticolo amorfo del vetro. Generalmente SiO_2 da sabbie quarzose. Si usa B_2O_3 per vetri speciali (es. pyrex)

- **Fondenti**

Ossidi di metalli alcalini (Na o K) che facilitano il processo di fusione abbassandone la temperatura

- **Stabilizzanti**

Ossidi di Ca, Mg, Ba, Pb che rendono i vetri più stabili agli agenti chimici e fisici

- **Coloranti**

1 Ioni cromofori.

| Ioni cromofori | Coordinazione | Colorazione |
|-----------------------------------|---|---|
| Cu^{2+} | $[\text{Cu}^{\text{II}}\text{O}_6]$ | blu pallido |
| Cu^+ | | incoloro |
| Ti^{3+} | $[\text{Ti}^{\text{III}}\text{O}_6]$ | violetto-marrone |
| V^{3+} | $[\text{V}^{\text{III}}\text{O}_6]$ | verde |
| V^{5+} | $[\text{VO}_4]$ | incoloro |
| Cr^{3+} | $[\text{Cr}^{\text{III}}\text{O}_6]$ | verde |
| Cr^{6+} | $[\text{Cr}^{\text{VI}}\text{O}_4]$ | giallo |
| Mn^{2+} | $[\text{Mn}^{\text{II}}\text{O}_6]$ | incoloro |
| Mn^{3+} | $[\text{Mn}^{\text{III}}\text{O}_6]$ | violetto |
| Fe^{3+} | $[\text{Fe}^{\text{III}}\text{O}_4]$, $[\text{Fe}^{\text{III}}\text{O}_6]$ | giallo |
| Fe^{2+} | $[\text{Fe}^{\text{II}}\text{O}_6]$ | blu |
| $\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+}$ | | verde |
| Co^{2+} | $[\text{Co}^{\text{II}}\text{O}_4]$ | blu intenso |
| Co^{2+} | $[\text{Co}^{\text{II}}\text{O}_6]$ | rosa (in vetri borati) |
| Co^{3+} | $[\text{Co}^{\text{III}}\text{O}_4]$ | verde |
| Ni^{2+} | $[\text{Ni}^{\text{II}}\text{O}_6]$ | giallo (in vetri contenenti Li_2O) |
| Ni^{2+} | $[\text{Ni}^{\text{II}}\text{O}_4]$ | blu (in vetri contenenti K_2O) |
| Ni^{2+} | $[\text{Ni}^{\text{II}}\text{O}_6] + [\text{Ni}^{\text{II}}\text{O}_4]$ | bruno-grigio |

VETRO SODICO-CALCICO

Vetro più comune

Basso costo; facile fabbricazione e lavorazione; buona resistenza e stabilità all'acqua; la durabilità aumenta con aggiunta di Al_2O_3

Poco resistente al calore e agli sbalzi termici

Vetri per finestre, auto, bulbi di lampadine, ecc



VETRO DI SILICE

Si ottiene per fusione da quarzo purissimo a $T > 2000^\circ C$

Si può impiegare fino a oltre $1000^\circ C$

Trasparente a UV e IR

Si utilizza per strumenti ottici, lampadine LED, nelle industrie e nei laboratori chimici





VETRI BOROSILICATICI (PYREX)

Eccellenti doti di **resistenza agli sbalzi termici**; elevata resistenza chimica

Vetreria da laboratorio, termometri, attrezzatura per l'industria chimico-farmaceutica, isolanti elettrici, stoviglie da forno, ecc

VETRI ALLUMINOSILICATI

Sopportano temperature elevate (vetri per **uso diretto su fiamma**). Usati come materiali avanzati per aerei, edilizia, schermi touch-screen, ecc

CEMENTO

Nome generico per i LEGANTI

=

Materiali in polvere che mescolati ad acqua diventano lavorabili e plastici e induriscono con il tempo

Leganti aerei: induriscono all'aria

Leganti idraulici: induriscono anche in acqua e induriti resistono al contatto con l'acqua

Nel processo di irrigidimento dei leganti si distinguono due fasi:

Presatura: la sospensione fluida si trasforma in massa rigida in grado di trattenere la forma iniziale (tempo: da pochi minuti a decine di ore)

Indurimento: miglioramento progressivo e indefinito nel tempo delle proprietà meccaniche

Produzione della calce

Per cottura delle rocce calcaree si ottiene la reazione:



Il processo è **fortemente endotermico** (per produrre 100 kg di calce occorrono 20 Kg di carbone)

La trasformazione completa del carbonato in calce viva avviene a 900°C



La calce

Calce viva: CaO

Calce spenta: Ca(OH)_2

Spegnimento della calce viva:



$$\Delta H = - 15,5 \text{ kcal/mol}$$

Calce = Legante aereo

Utilizzando un eccesso di acqua si ottiene una massa plastica chiamata *grassello*

Malta di calce

=

grassello (1 v.) + sabbia (3 v.)

CO₂ dell'aria reagisce con la malta di calce per dare

reazione di carbonatazione



Presca: evaporazione dell'acqua di impasto

Indurimento: reazione di carbonatazione

Il carbonato di calcio insolubile salda gli elementi della malta

- 1000 a.C.: i Fenici formulano il primo legante idraulico ottenuto mescolando calce spenta e polvere di laterizio cotto

- I Romani utilizzarono i leganti idraulici per il consolidamento delle parti costruttive immerse sott'acqua

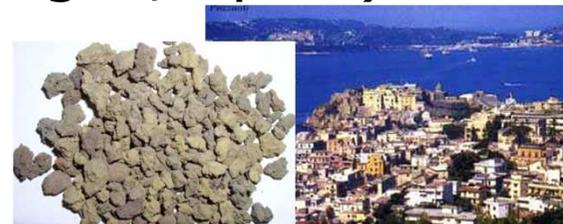


Malte idrauliche

Le malte a base di calce aerea possono essere rese idrauliche aggiungendo, al momento dell'impasto, frazioni di **pozzolana** o di **cocciopesto**

Pozzolana: inizialmente estratta dalle cave di Pozzuoli; è un prodotto di origine vulcanica costituito prevalentemente da **silicati idrati di allumina**, da **silice al 70%**, **ossido di ferro**, **potassio**, **sodio e magnesio**. Ha natura acida e reagisce con calce viva (basica) per dare silicati amorfi

Cocciopesto: argilla cotta; usata fin dall'antichità; composta da **silicato di alluminio cotto e frantumato**. Si può considerare una pozzolana artificiale; veniva usata dai Romani per rendere idraulico il grassello di calce per realizzare interventi in presenza di acqua (acquedotti, fogne, porti) e come impermeabilizzante di coperture



La **pozzolana** ed il **cocciopesto** combinandosi con la **calce** e **l'acqua** danno origine a malte che hanno proprietà cementanti (idraulicità)

L'impiego sia della pozzolana che del cocciopesto, grazie alla loro composizione reattiva, consente alla malta aerea di acquisire caratteristiche meccaniche superiori e di **ridurre i tempi di indurimento che, normalmente, sono abbastanza lunghi**

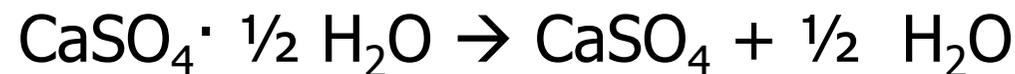
Gesso

Prodotto artificiale ottenuto dalla cottura di una roccia sedimentaria di composizione $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e successiva macinazione

Per riscaldamento il solfato di calcio biidrato si decompone



$$\Delta H = 19,5 \text{ kcal/mol} \quad (128^\circ\text{C})$$



$$\Delta H = 7,3 \text{ kcal/mol} \quad (163^\circ\text{C})$$

La forma più reattiva è l'emiidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) → la cottura della pietra da gesso avviene tra **128°C e 163°C**

Il calcio solfato emiidrato possiede solubilità in acqua (**10 g/L**) maggiore del biidrato (2,5 g/L)

Gesso impastato con una **massa d'acqua pari a 2/3** del suo peso forma una massa plastica che indurisce rapidamente

Nel corso della presa e indurimento il gesso subisce un leggero aumento di volume. Non sono necessari inerti aggiunti

Con l'aggiunta di **inerti refrattari quali allumina o silice** il gesso può formare componenti refrattari quali stampi, crogiuoli

CEMENTO PORTLAND

Brevetto: Inghilterra 1824, depositato da Joseph Aspidin per migliorare il cemento idraulico

Miscela macinata finemente: **pietra calcarea**, CaCO_3 (75%) + **argilla** (25%) contenente **allumina**, **ossido di ferro(III)**, **MgO**, **sali di Na e K**

Miscela viene introdotta gradualmente in fornace rotante leggermente inclinata

La temperatura si innalza lentamente a causa di corrente d'aria calda

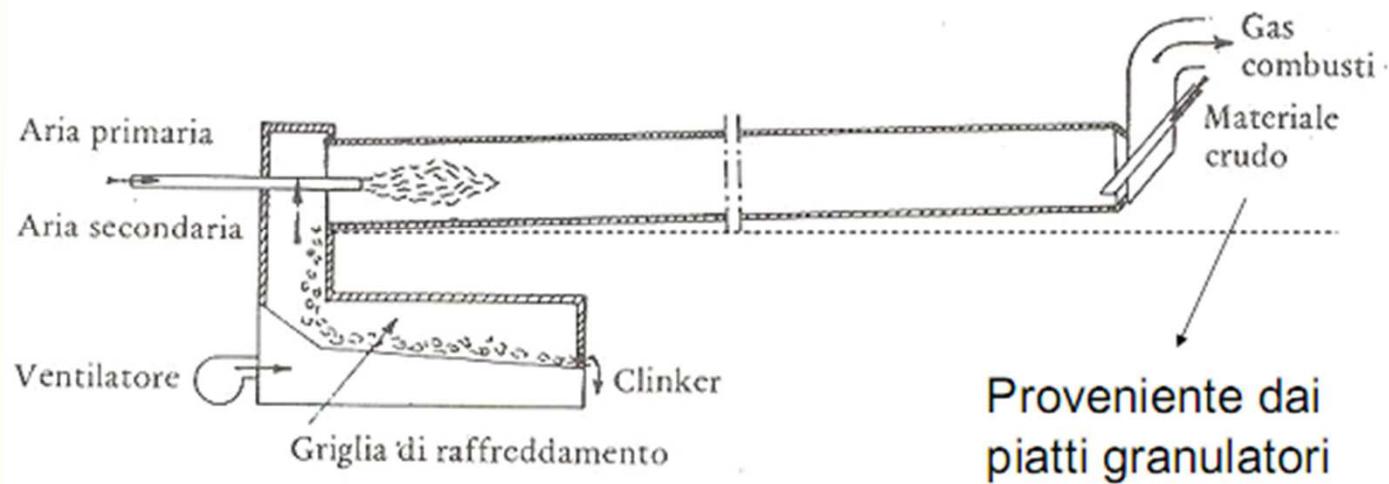
Fabbricazione del Portland

Materie prime: Calcare fornisce CaO ; Argilla fornisce SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3

Fasi del processo di fabbricazione:

- Macinazione e miscelazione delle materie prime in fornace
- Cottura e ottenimento del **clinker** (noduli di 5 –10 mm)
- Macinazione del clinker con aggiunta di gesso diidrato (5-6%)

COTTURA (fino a 1450°C)





Composizione Cemento Portland

| | |
|--------------------------------------|-------------|
| CaO | 58 – 68 % |
| Al ₂ O ₃ | 4 – 8 % |
| Fe ₂ O ₃ | 2 – 5 % |
| SiO ₂ | 16 – 26 % |
| MgO | 1 – 4 % |
| Na ₂ O + K ₂ O | 0 – 0,6 % |
| SO ₃ | 0,1 – 2,5 % |

Fasi del processo termico

$T < 500^{\circ}\text{C}$ perdita dell'acqua di impasto

$T > 500^{\circ}\text{C}$ decomposizione delle argille in silice e allumina amorfe

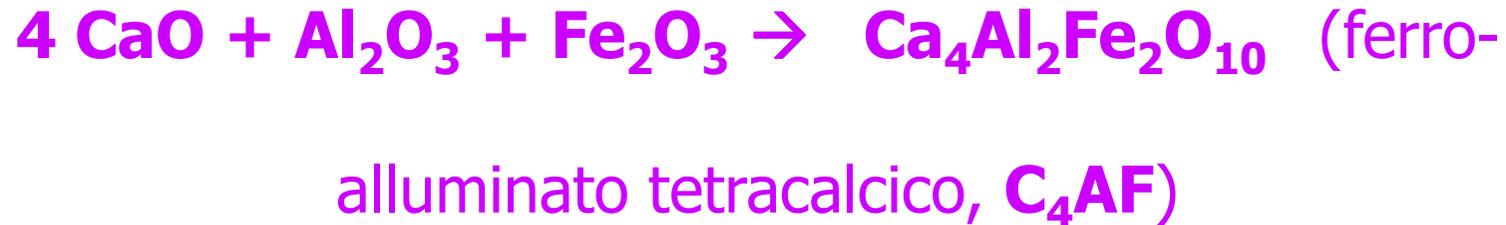


$T > 900^{\circ}\text{C}$ decomposizione del calcare



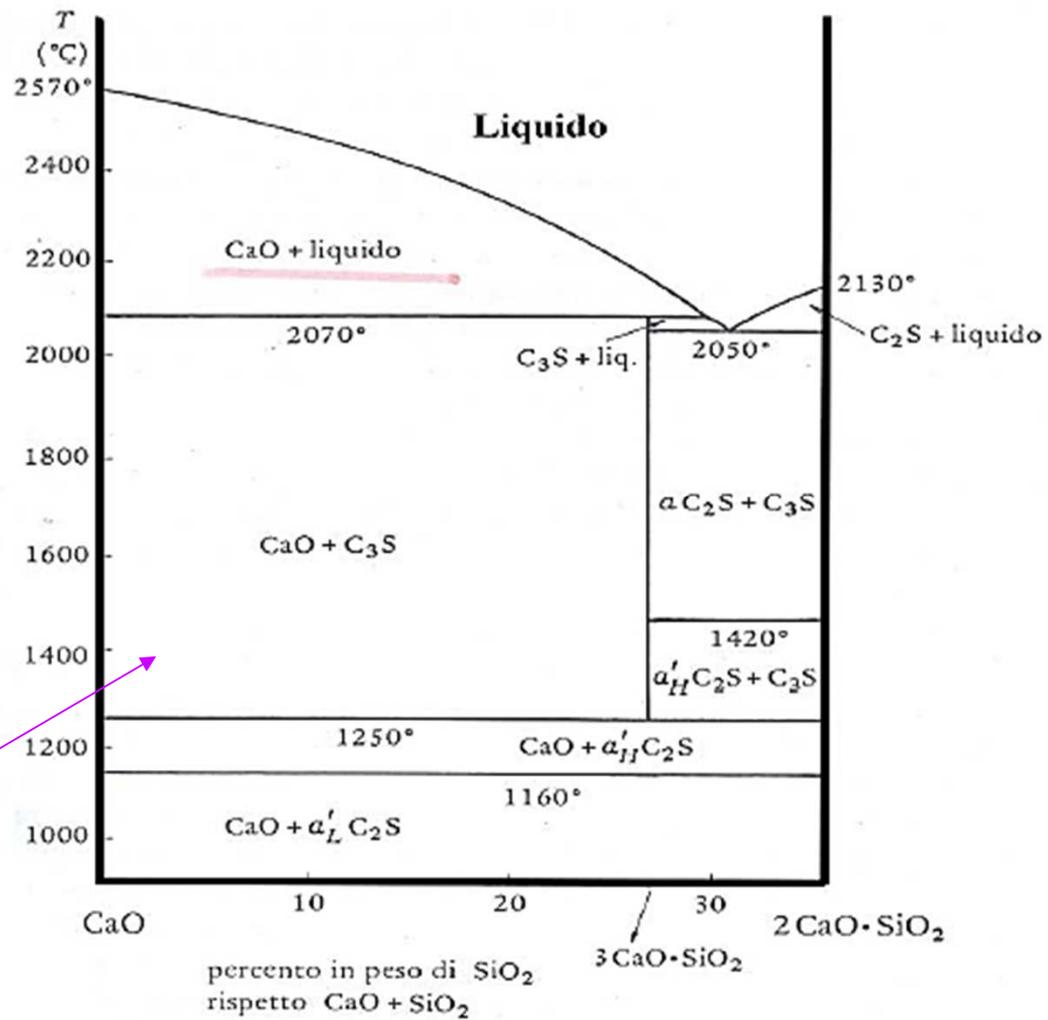
Acqua e biossido di carbonio vengono portati via dai fumi

T = 1300° – 1450°C si combinano i quattro ossidi:



Belite e alite rappresentano 70-80% del prodotto finale e conferiscono resistenza meccanica al cemento indurito

La cottura del cemento deve avvenire a $T > 1400^\circ\text{C}$ altrimenti scompare il campo del C_3S



Principali componenti del clinker di un cemento Portland:

| | | |
|-------------------------------|---|---------|
| Silicato tricalcico | → | C_3S |
| Silicato bicalcico | → | C_2S |
| Alluminato tricalcico | → | C_3A |
| Ferro alluminato tetracalcico | → | C_4AF |

A cui viene aggiunto come ritardante di presa:

Gesso

Idratazione del Portland

Le reazioni di idratazione del Portland portano alla formazione di un impasto lavorabile e quindi all'indurimento del calcestruzzo

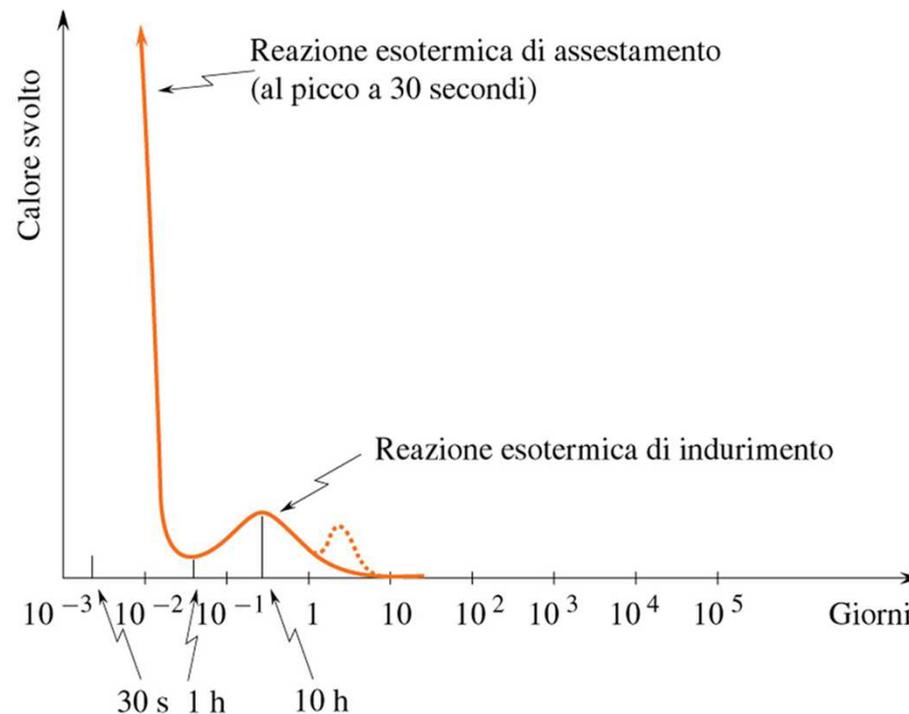
La **velocità delle reazioni** dipende dalla **superficie di contatto con l'acqua** e quindi dalla finezza delle particelle di clinker

La reazione coinvolge prima gli alluminati e i ferroalluminati, in seguito i silicati di calcio

Il cemento comincia ad indurire dopo 1 h

Le **reazioni di idratazione sono esotermiche** nei primi 25 minuti con un picco dopo 30 sec

Formazione di calore per 10 giorni (1% di calore rispetto al precedente) con picco dopo 10 h





Dopo 60 sec : 0,020 M pH = 12,3

Dopo 3 h : 0,075 M pH = 12,9 poi diminuisce



Dopo 120 sec : primo max

Dopo 3 h : secondo max poi diminuisce



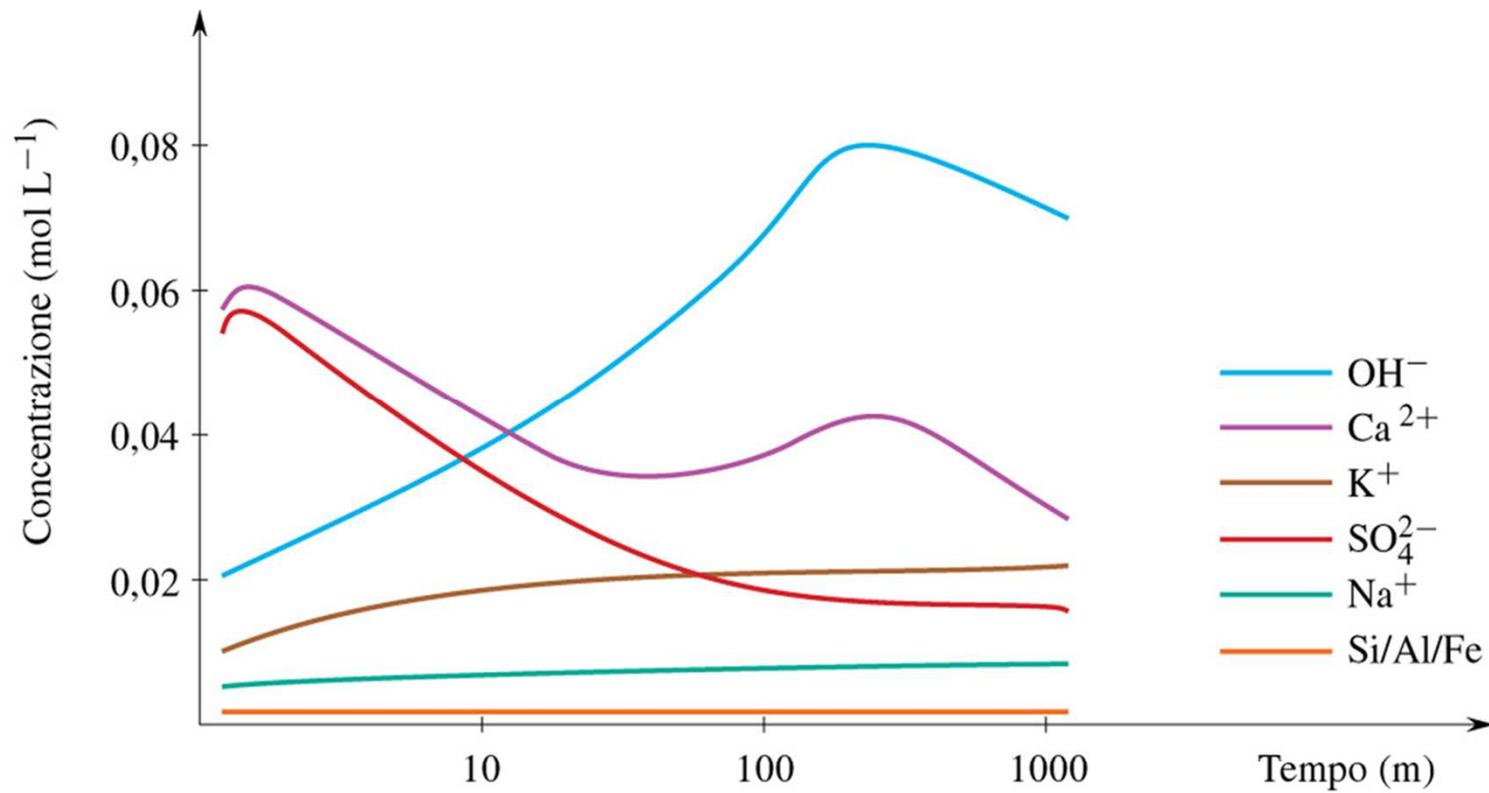
Dopo 120 sec : max poi diminuisce



Crescono leggermente nel tempo



Restano sempre bassi (2×10^{-6} M)



Quando si aggiunge acqua al clinker C_3S , C_2S e C_3A si idratano (reaz. esotermica) in 60 sec ricoprendosi di una patina gelatinosa (silicati e alluminosilicati) → polimerizzazione dei silicati

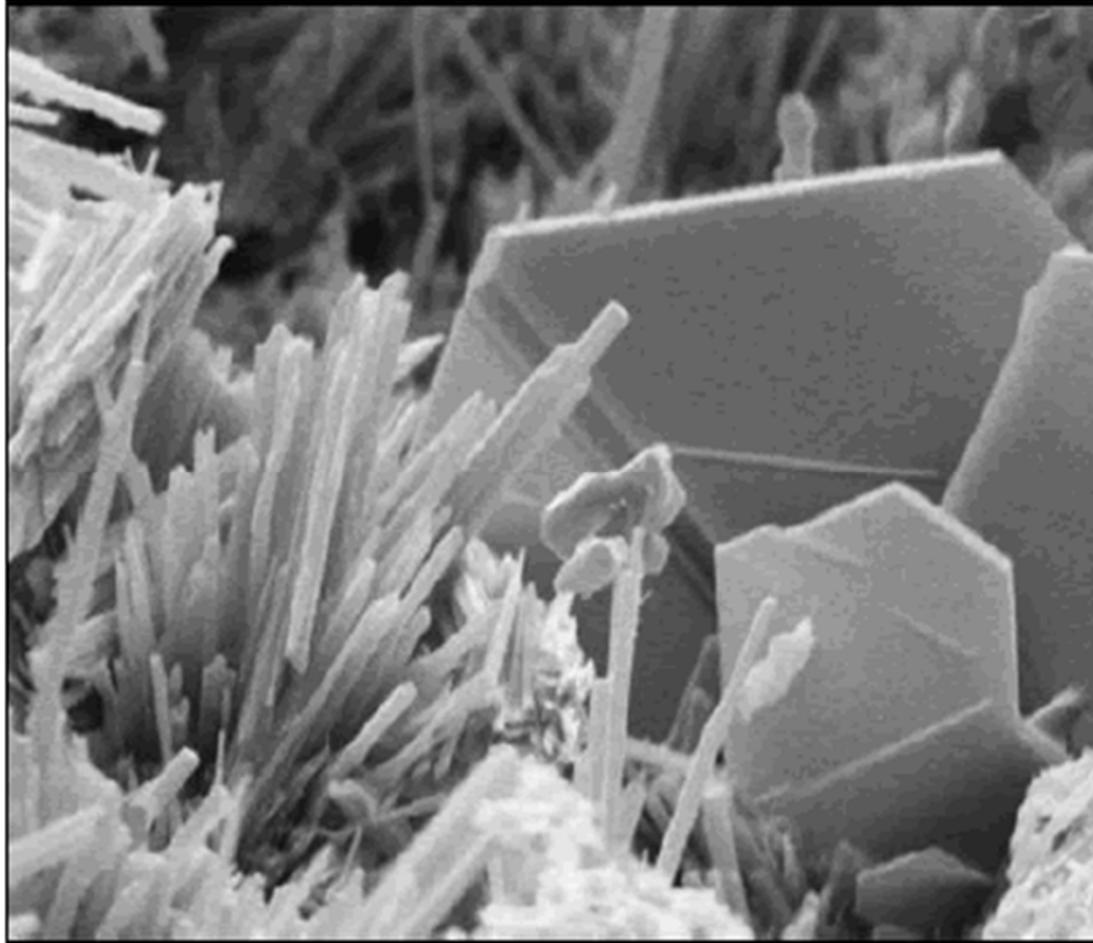
Reazioni coinvolte:



Gesso serve a rallentare la reazione con acqua (presa troppo rapida)

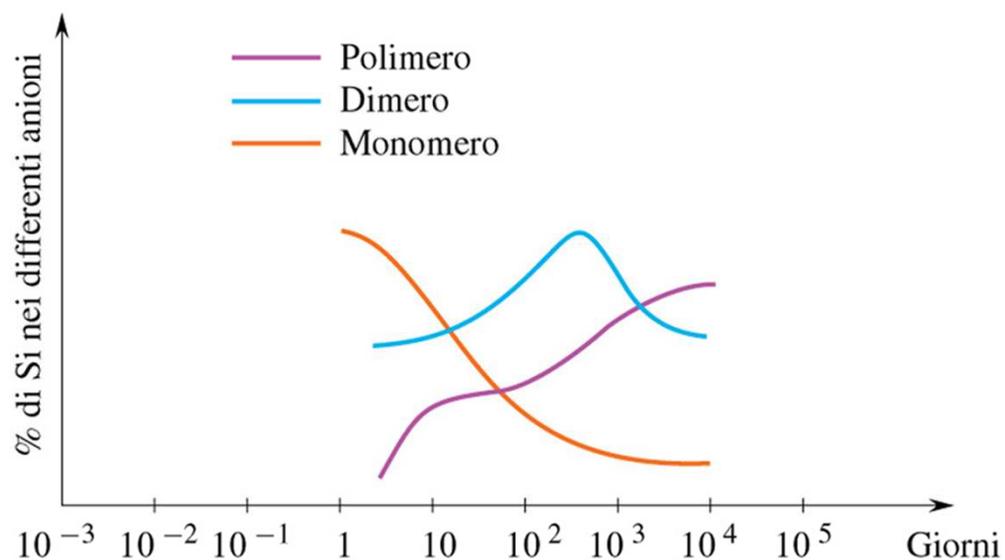
Ettringite (presa) e **portlandite** (cristalli di Ca(OH)_2) appaiono dopo 10 min; portlandite con il tempo dà **reaz. di carbonatazione**; troppa portlandite → dilavamento da parte di acque correnti acidule

Immagine al microscopio elettronico di cemento dopo indurimento



I bastoncini sono cristalli di ettringite, i prismi sono portlandite. La matrice sottostante è costituita da polimeri di silicati

Presa del Portland è dovuta agli alluminosilicati e
indurimento è dovuto ai silicati (polimeri)



Cemento
+ acqua
+ aria
+ additivi =

Pasta di cemento + sabbia =

Pasta cementizia + ghiaia o
pietrisco =

Calcestruzzo + armature in
acciaio =

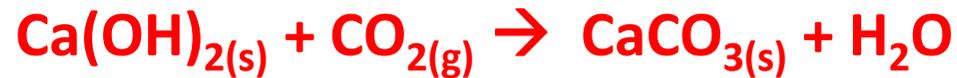
Calcestruzzo armato

Cause della degradazione del cemento

| Chimico | Fisico | Meccanico |
|---|--|---|
| Solfati e solfuri Anidride carbonica Cloruri Alcali Acidi | Gelo –disgelo Ritiro Incendio Calore di idratazione | Urto scoppio Erosione, abrasione Sisma Vibrazioni |

Carbonatazione del cemento

La **reazione di carbonatazione** consiste nell'ingresso di CO₂ nella porosità del calcestruzzo con conseguente neutralizzazione della calce prodotta durante l'idratazione del Portland.

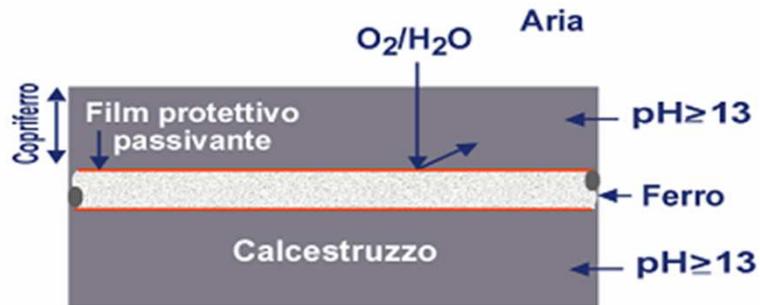


Questa reazione provoca la **diminuzione del pH**

La **carbonatazione è innocua per il calcestruzzo ma determina** la creazione di condizioni per il processo di **corrosione dell'acciaio (abbassamento del pH)** e la **cessazione dell'azione protettiva del cemento sul ferro** di armatura (nel cemento armato). Rimedi:

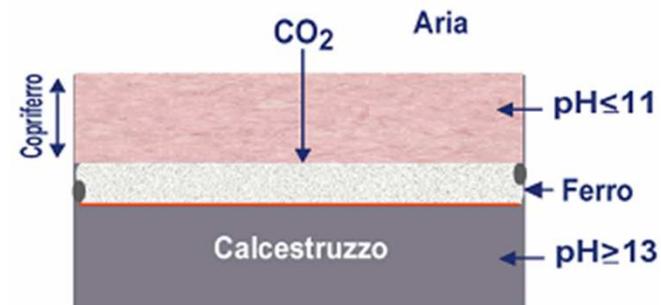
- Diminuire la porosità minimizzando la quantità di H₂O di impasto
- Proteggere l'armatura di ferro con tecniche elettrochimiche

CORROSIONE



Se il pH del cemento è maggiore di 11,5 - 12 si forma uno **strato protettivo di ossido** sulla superficie dell'armatura di acciaio (passivazione).

Se il pH scende sotto 11 per diminuzione di $\text{Ca}(\text{OH})_2$, il film sottile di ossido si rompe e si forma la ruggine. Anche il deposito continuo e massiccio di ioni cloruro diminuisce la quantità di $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e il pH



Attacchi chimici

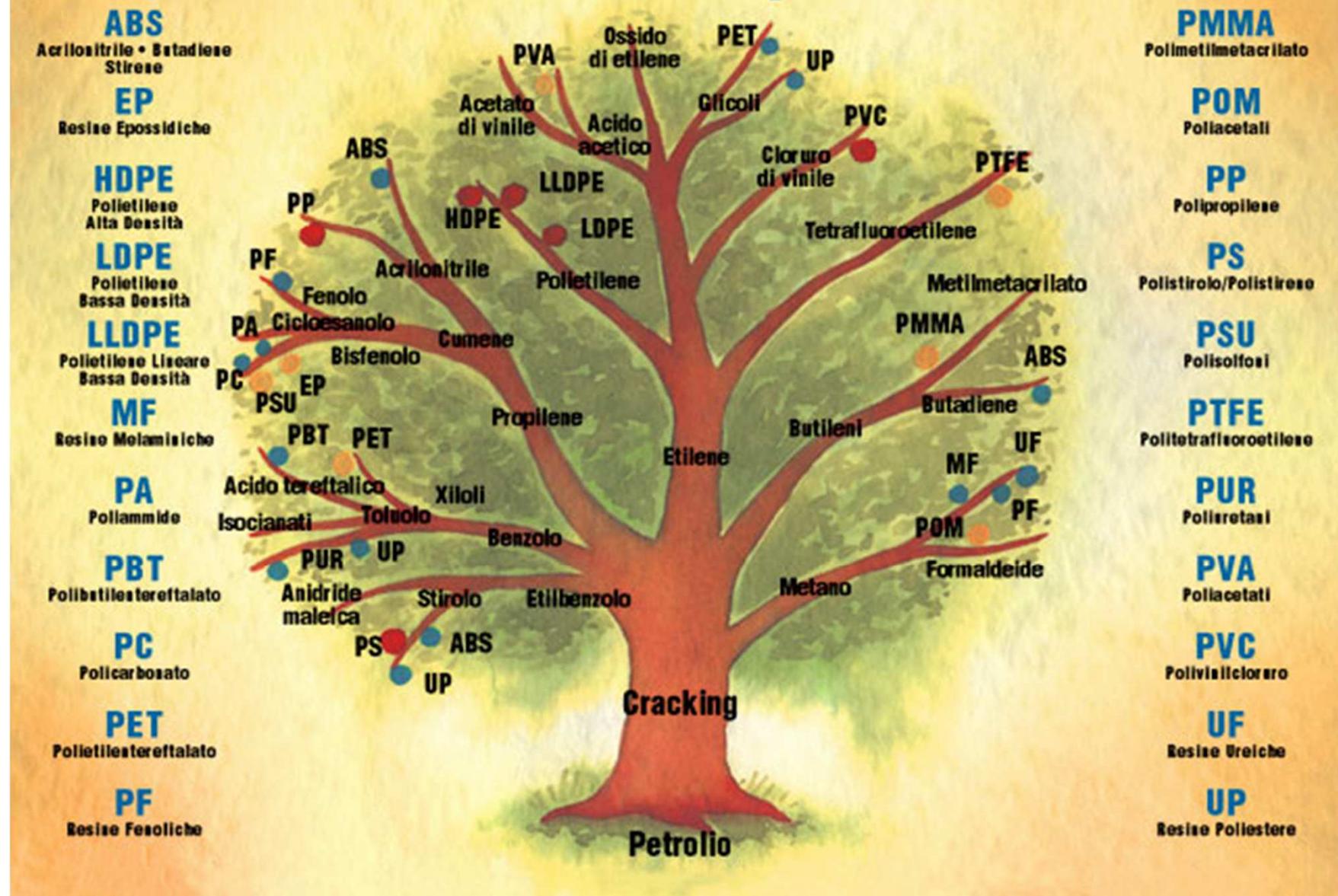
Dilavamento

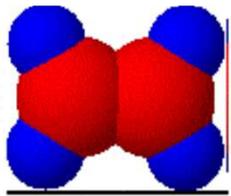
Le acque piovane sono naturalmente acide ($\text{pH} = 5,5$) per la presenza di H_2CO_3 . L'acido carbonico determina la trasformazione del carbonato di calcio in bicarbonato, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, più solubile e quindi facilmente dilavabile.

Sali disgelanti (es NaCl , CaCl_2)

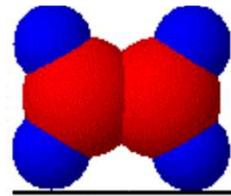
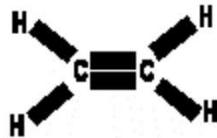
Azione aggressiva nei confronti del calcestruzzo e dell'armatura. Si forma un ossicloruro con aumento di volume ed effetto dirompente; inoltre gli ioni cloruro sono corrosivi sul metallo e diminuiscono la presenza di $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con abbassamento del pH.

L'albero della plastica

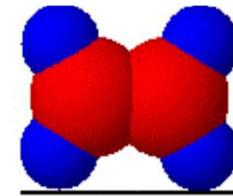
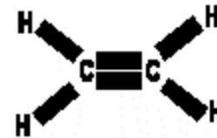




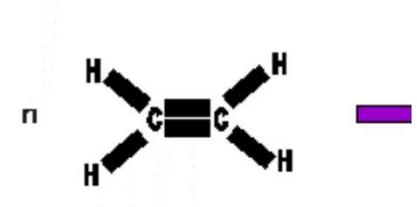
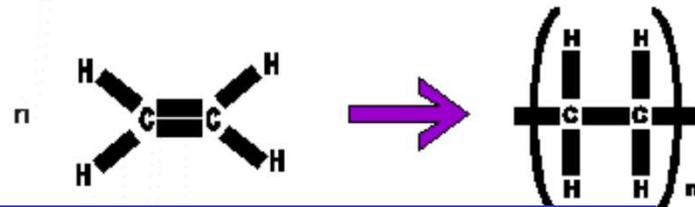
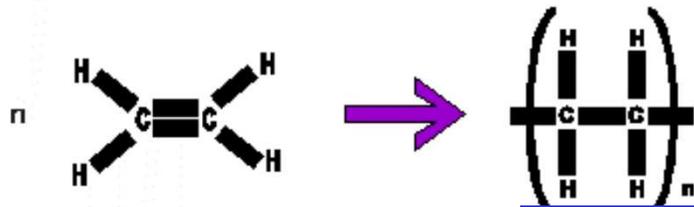
a monomer ethene



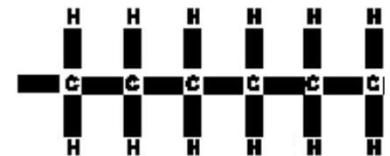
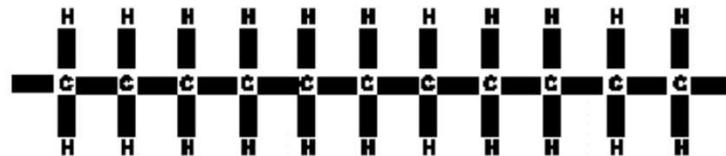
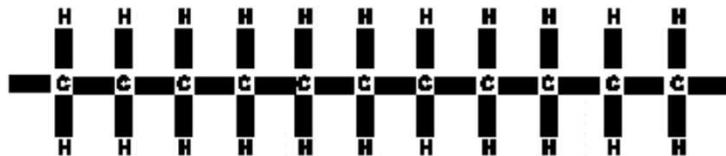
a monomer ethene



a monomer ethene

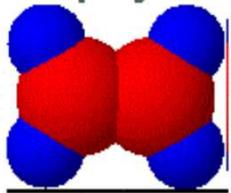


POLIMERI

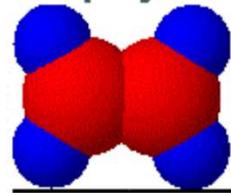
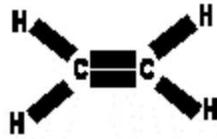


a polymer

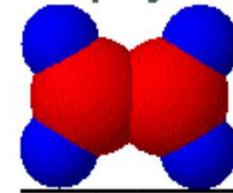
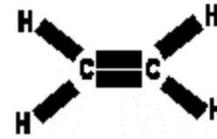
poly(ethene)



a monomer ethene



a monomer ethene



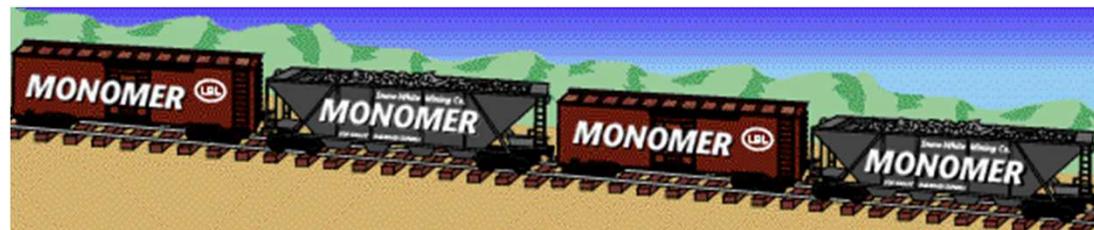
a monomer ethene



POLIMERI: molecole di grandi dimensioni (macromolecole)
caratterizzate da elevate masse molecolari ($10^4 - 10^7$
u.m.a. o Dalton)

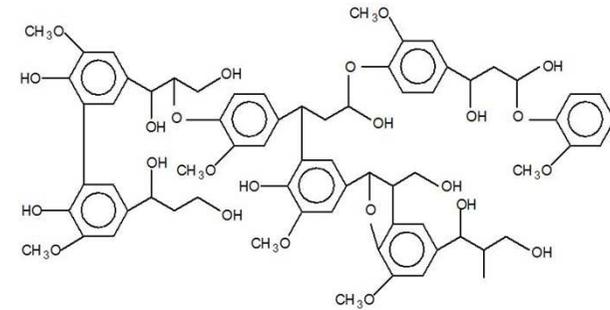
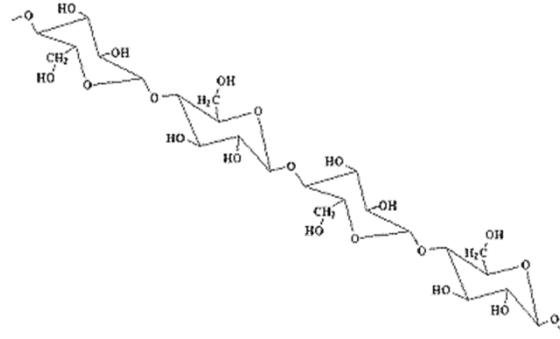
Un **polimero** è costituito da unità costitutive più piccole (**monomeri**) che si ripetono un numero elevato di volte e sono legate fra loro da legami covalenti

Oligomeri: costituiti da poche unità (20-30 circa)

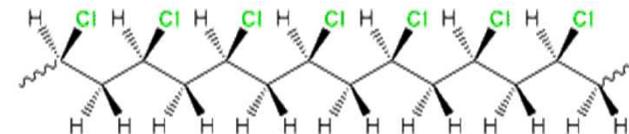
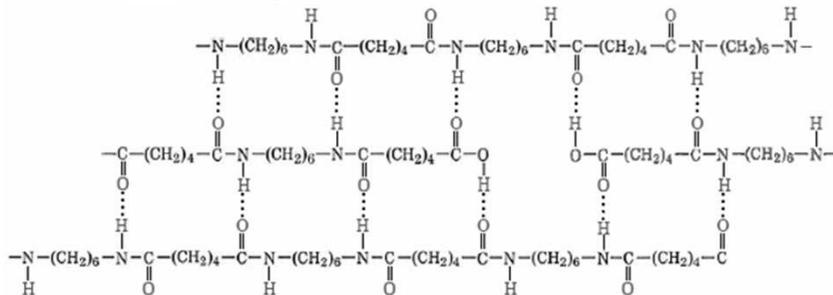


Materiali strutturali e funzionali

Esistono molti *polimeri naturali* (biomolecole, lignina, cellulosa)



Polimeri sintetici sono recenti (inizio del 1900)



1839: Charles Goodyear vulcanizza la **gomma** naturale

1855: lo svizzero Georges Audemars produce il **rayon** (dalla cellulosa)

1860: l'americano John W. Hyatt produce la **celluloide** (1° sintetico)

1909: il belga-statunitense Leo H. Baekeland produce la **bachelite** (1° successo commerciale)

1927: commercio del **PVC** (polivinilcloruro)

1930: I.G. Farben sintetizza per la Dow Chemicals il **polistirene**

1928-39: sintesi del **polimetilmetacrilato** e del **polietilene** alla ICI

1935: Wallace H. Carothers della DuPont sintetizza il **nylon**

1939: DuPont commercializza la seta sintetica

NYLON (polimero sintetico)

NYLON
gives you something extra

Books are made of nylon
Give you **EXTRA VALUE**—

- ✓ RESISTANCE
- ✓ DURABILITY
- ✓ ELASTICITY
- ✓ STRENGTH
- ✓ RESISTANCE TO OILS AND GREASES
- ✓ DURABLE "UP TO WASH" MARK

EXTRA VALUE—

DU PONT
REG. U.S. PAT. OFF.
WHOLE SALES FOR THE U.S.A.
—CORPORATION—

Saranquick Nylon

PACK IT—washable, quick-drying nylon robe! It's light, long-wearing, and takes up little room. Nylon can be "beat out," wrinkles are no worry.

WORK WITH IT In the water—and again—commercial laundry bags must be strong, light, tough. Nylon fibers have a high tensile strength when wet, are unaffected by detergents.

WASH IT! Hang it up! Your nylon blouse is almost ready to wear again. For nylon is that fast-drying fiber! Needs little ironing, can be "set" to hold its shape. Wear and WEARS!

news about NYLON

it all started with a stocking
...a smoother, lovelier, long-wearing stocking. Today you're choosing silky nylon hose in fashion-right, exquisite-bright colors—sheer, resistant, surprisingly strong for their weight. You're finding nylon fibers in lingerie—tough and long-wearing in many industrial uses.

DU PONT
REG. U.S. PAT. OFF.

BETTER THINGS FOR BETTER LIVING
...THROUGH CHEMISTRY

TO MANUFACTURERS: Are there textile fibers in your product that you'd want to meet "the best textile fibers in industry"? Write for this important book now!

NEW! FREE Look for women, teachers, adults—around Du Pont Nylon! Write to Nylon Division, E. I. du Pont de Nemours & Co. (Inc.), Wilmington, Del.

✓ LONG WEAR ✓ EASY WASHING
✓ LIGHTNESS ✓ FINE DYEING
✓ ELASTICITY ✓ FLAME RESISTANCE
✓ RESISTANCE TO MOths AND PERSPIRATION
✓ CAN BE "SET" TO HOLD SHAPE

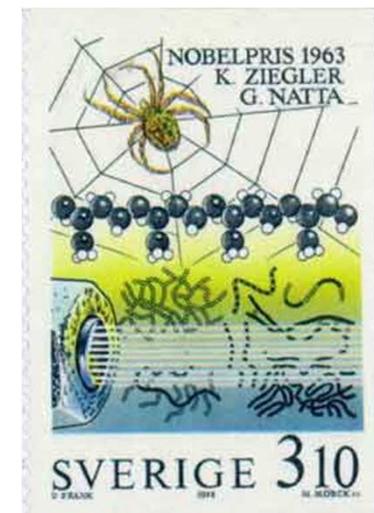
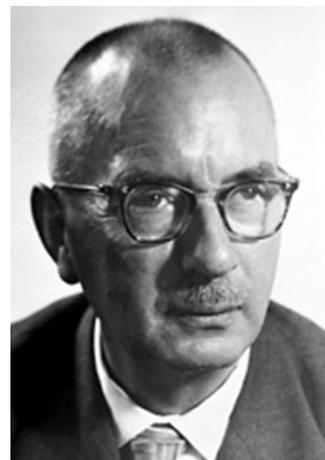
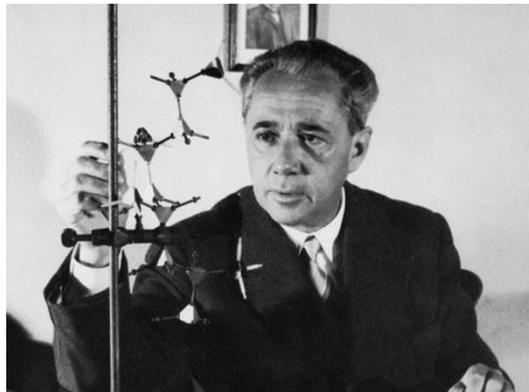
FOR NYLON... FOR RAYON... FOR FIBERS TO COME... LOOK TO DU PONT

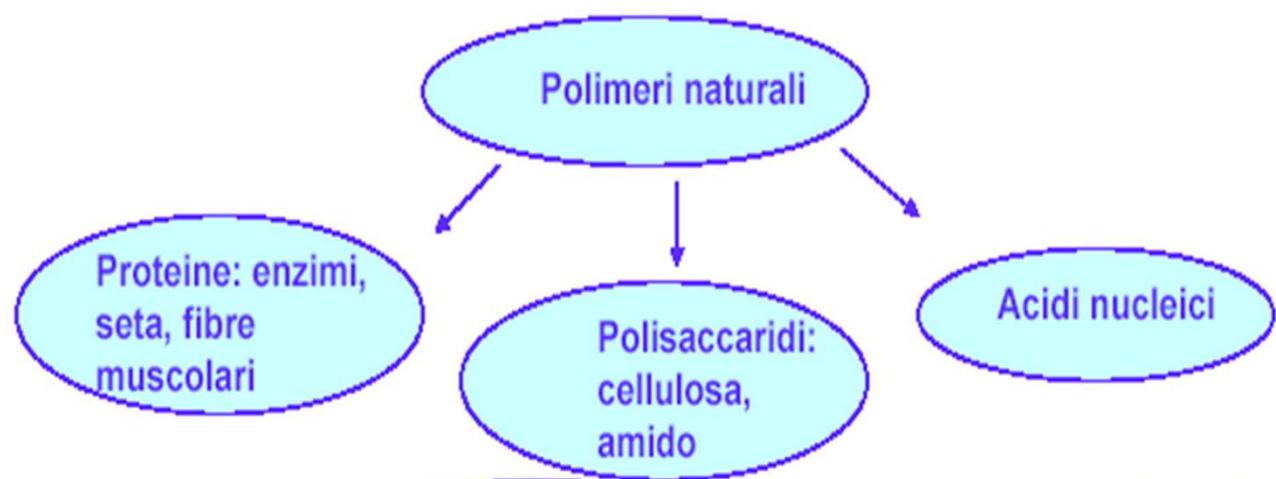
1938: sintetizzato il **politetrafluoroetilene** (PTFE, brevettato come **Teflon** nel 1950 dalla DuPont)

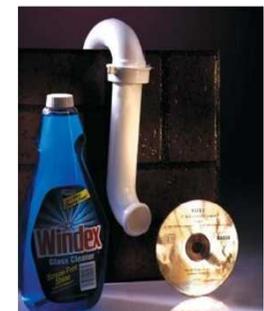
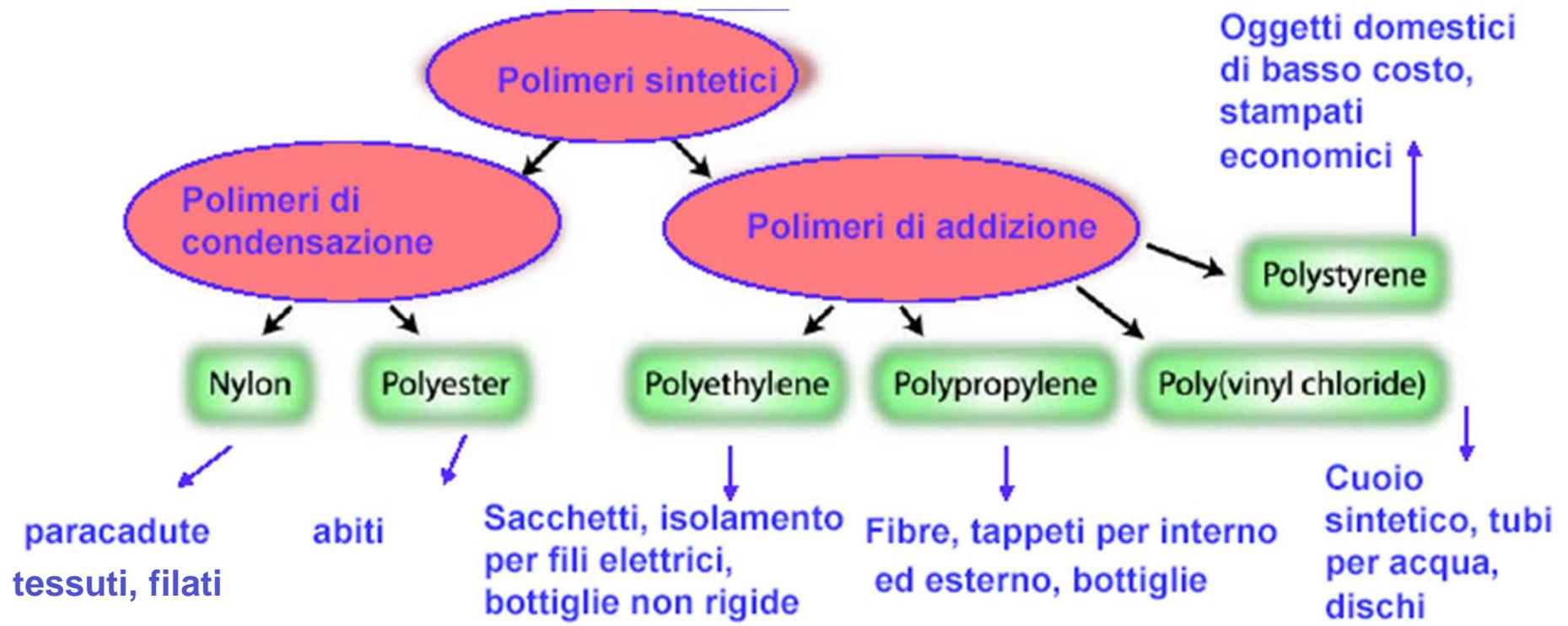
1953: il chimico tedesco Karl Ziegler sintetizza il **polietilene** (PE)

1954: il chimico italiano Giulio Natta produce il **polipropilene** isotattico (commercializzato con il nome Moplen)

1963: Ziegler e Natta ottengono il **premio Nobel per la chimica** come riconoscimento dei loro studi sui **polimeri**







APPLICAZIONI

Edilizia assorbe il 14% della produzione di materie plastiche (5 milioni di tonnellate/anno in Europa)

Serramenti, impiantistica, cavi elettrici e guaine, rivestimenti murali e pavimenti, tubature, isolamento termico ed acustico, membrane per impermeabilizzazione, arredamento.

Caratteristiche importanti: leggerezza, durata, isolamento, economia, facilità d'uso.



Comunicazioni 6% della produzione di materie plastiche

Fibre ottiche, microchip, computer, compact disk, telefonia

Agricoltura 4% delle materie plastiche prodotte in Italia.

Teloni per serre e coperture di terreni, irrigazione dei campi.

Trasporti Autoveicoli: in Italia 7% della produzione di materie plastiche. Numerosissime componenti delle auto (1700 su 5000), 13 differenti tipi di polimeri. Il contenuto medio di materie plastiche in un'auto europea: 20 chili negli anni 60 (2% del peso) → 110-140 chili oggi (11-14% del peso). Abitacolo costituito per il 60% di materiale plastico.

Caratteristiche importanti: affidabilità, isolamento, sicurezza

Imballaggi: 44% di tutta la produzione di materie plastiche. In Europa il 50% di tutto l'imballaggio alimentare è in plastica. In 20 anni, il packaging si è alleggerito dell'80%

Caratteristiche:

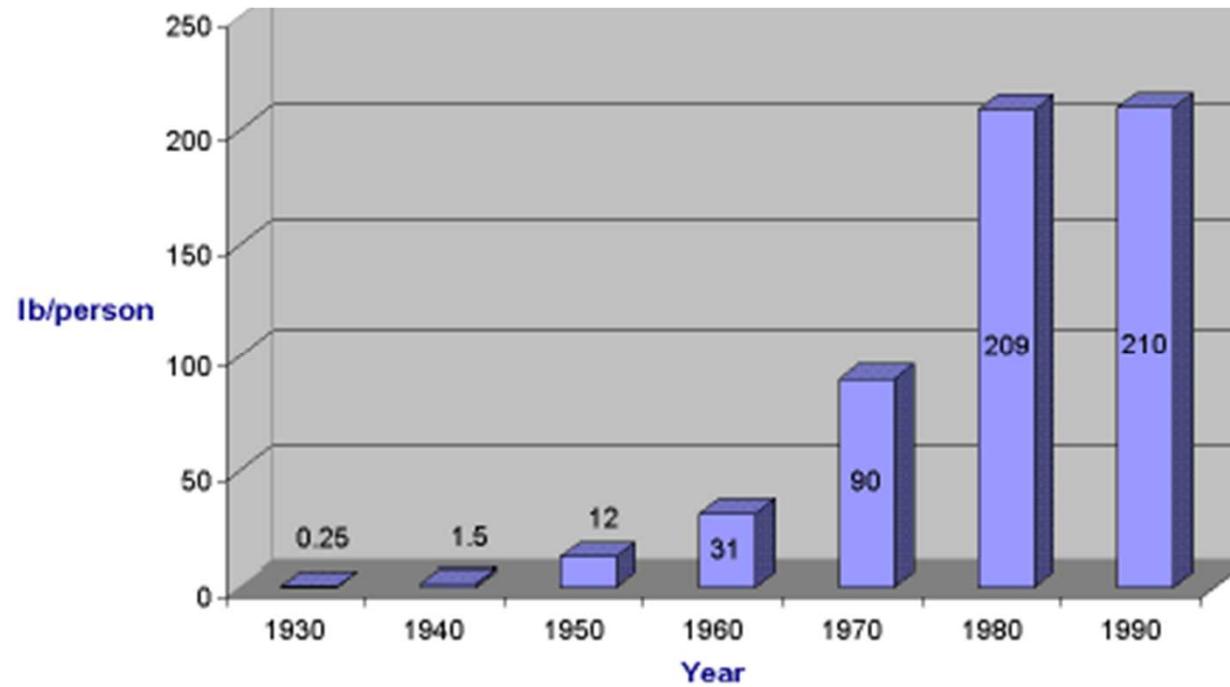
versatilità, leggerezza, robustezza, inerzia chimica, affidabilità, economicità.

Salute: Imballaggi termoformati per farmaci (blister pack), oggetti e attrezzature impiegate in medicina e chirurgia (tende ad ossigeno, guanti sterili, organi artificiali, protesi, sacche per sangue e plasma, tubi per trasfusioni).

Sport e Tempo libero: Ciclismo; Atletica; Nautica; Tennis

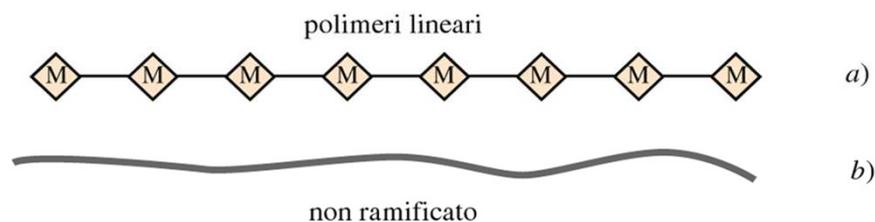
Spazio: Componenti strutturali in polimeri compositi, parti di vettori spaziali, strutture di satelliti per le comunicazioni, parti resistenti alle temperature elevate, schermi di protezione contro il calore (fino a 2800°C al momento del rientro nell'atmosfera), protezione dei componenti interni dei satelliti e dei computer, isolanti per serbatoi del carburante dei veicoli spaziali, ecc

Uso dei polimeri in USA

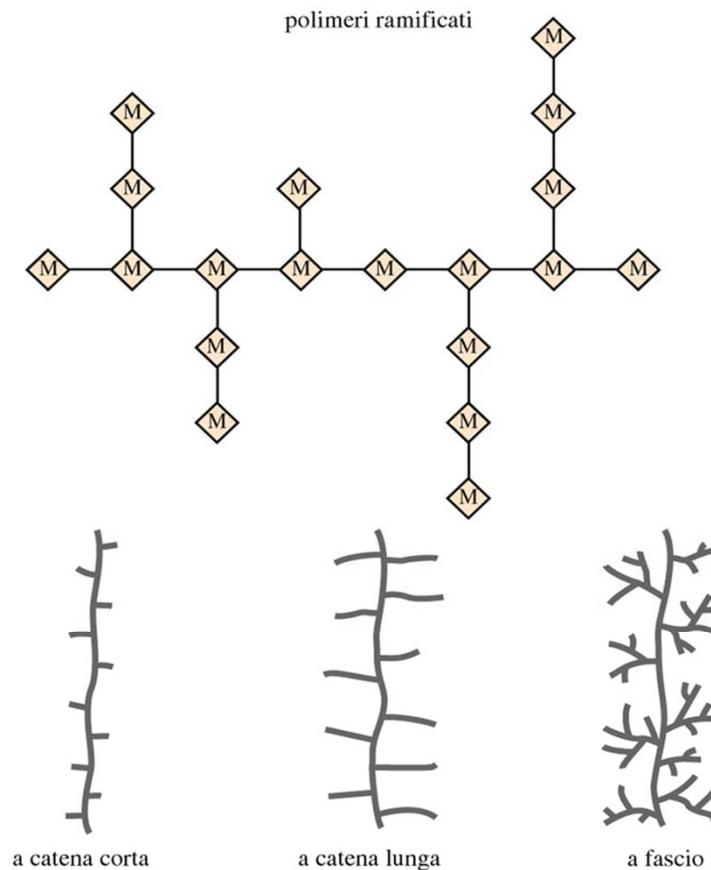


Monomero: composto che possiede almeno due funzioni reattive cioè due gruppi di atomi che reagiscono selettivamente (monomero bifunzionale)

Monomero bifunzionale formerà polimeri lineari

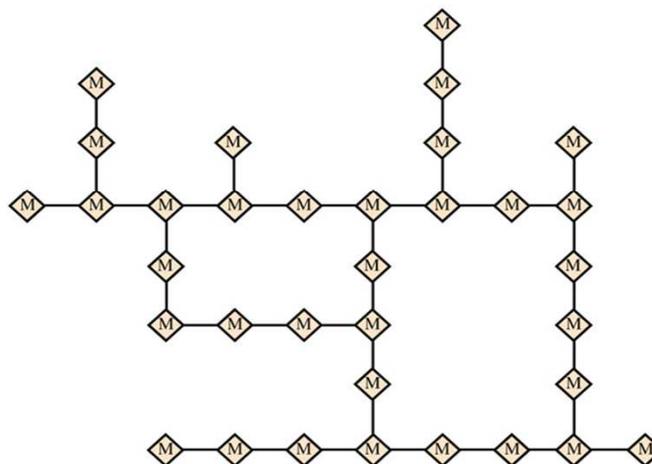


Monomero trifunzionale può produrre polimeri ramificati



Monomero polifunzionale può produrre polimeri reticolati

polimeri reticolati



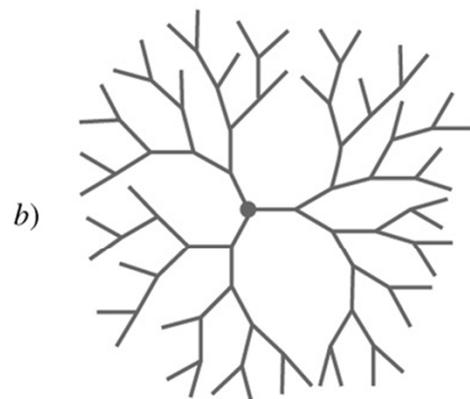
reticolo a maglie larghe



reticolo a maglie strette



polimeri a stella



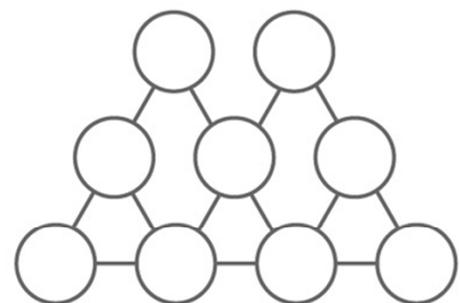
dendrimeri (arboroli)



polimeri a scala



polimeri ciclolineari



polimeri ciclomatrice

GRADO DI POLIMERIZZAZIONE: numero di unità ripetitive (n)

PESO MOLECOLARE (M): si ottiene moltiplicando il grado di polimerizzazione (n) con il peso molecolare dell'unità ripetitiva (monomero, M_0).

$$M = n \times M_0$$

Sono **pesi molecolari medi**. Infatti un materiale polimerico difficilmente è costituito da catene della stessa lunghezza

GRADO DI RETICOLAZIONE: numero medio di legami intermolecolari (possono essere van der Waals o covalenti) esistenti per catena

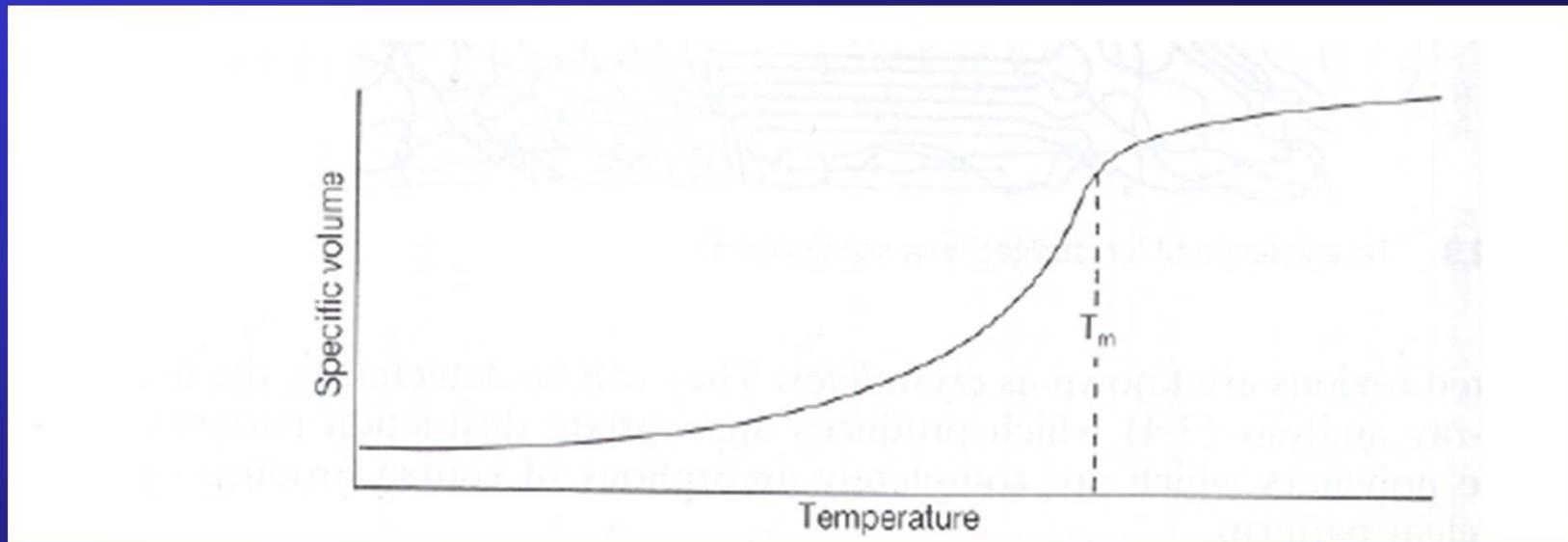
Struttura cristallografica

- Amorfa
- Semicristallina (zone cristalline disperse in una matrice amorfa) → buona resistenza alla temperatura ed agli agenti chimici
- Monocristalli (rari)

Punti di fusione

I solidi amorfi: non hanno un punto di fusione definito, si comportano come dei liquidi nei quali con l'aumentare della T diminuisce la viscosità man mano che le forze di van der Waals diminuiscono in intensità → **rammollimento**

I solidi semicristallini: la fusione inizia al rammollimento della matrice amorfa, si ha fusione dei cristalli più piccoli e densi, poi fusione delle zone cristalline di dimensioni maggiori (**T di fusione del polimero**) Più è elevato il grado di cristallinità più netto è il passaggio solido/liquido e più elevata è la temperatura di fusione



Curva di fusione di un polimero semicristallino

Temperatura di transizione vetrosa (T_g):

Temperatura a cui non sono più presenti i legami di Van der Waals fra le catene perché sono stati rotti dalle vibrazioni termiche

Al di sotto di T_g : il polimero è fragile e duro → comportamento vetroso

Al di sopra di T_g : il polimero è nello stato gommoso

Polietilene: $T_g = -90\text{ °C}$

Polistirene: $T_g = 100\text{ °C}$

PVC: $T_g = 87\text{ °C}$

