

# Corso di Tecnologia dei Materiali

Docente: Dr. Giorgio Pia

# Il Calcestruzzo

Resistenza a Compressione

# Il Calcestruzzo

## Proprietà meccaniche del cls

Il principale punto di debolezza del cls è la zona di transizione. In essa sono presente fin dall'inizio delle microfessure.

*Queste sono dovute al differente comportamento della pasta cementizia rispetto all'aggregato...*

... Variazioni termiche e di umidità

# Il Calcestruzzo

## Proprietà meccaniche del cls

La zona di transizione influisce anche sul diagramma sforzo-deformazione. Il cls infatti presenta un andamento degli sforzi rispetto alle deformazioni non lineare.

*Ben diverso dalla pasta cementizia dove il diagramma è praticamente lineare.  
Inoltre il cls ha una resistenza inferiore alla pasta di cemento.*

# Il Calcestruzzo

Proprietà meccaniche del cls

Altro aspetto fondamentale è il rapporto acqua/cemento che come visto in precedenza ha una notevole influenza sulla porosità capillare e quindi sulla riduzione della sezione utile.

# Il Calcestruzzo

## Stagionatura o maturazione

La stagionatura è quella fase che racchiude le procedure di controllo dell'umidità e della temperatura del calcestruzzo dopo il getto. Ha lo scopo di garantire una migliore idratazione del cemento e quindi un ottimo sviluppo delle proprietà meccaniche.

# Il Calcestruzzo

## Stagionatura o maturazione

*Durante la stagionatura:*

*Le temperature non devono essere troppo alte o troppo basse*

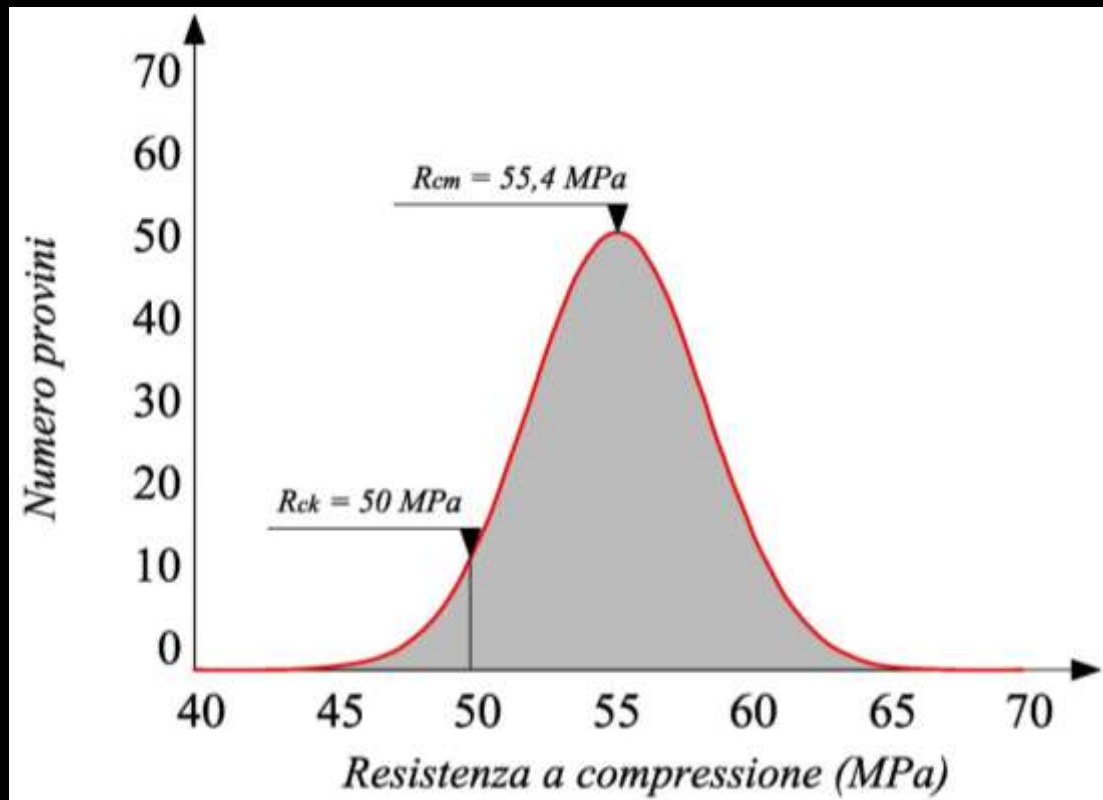
*Il getto deve essere mantenuto ad alti valori di umidità*

*La stagionatura si deve protrarre sino a quando non si raggiungono i valori di resistenza desiderati.*

# Il Calcestruzzo

## Resistenza a compressione

La resistenza caratteristica rappresenta il valore al di sotto del quale cade il 5% (quinto percentile) dell'area della curva di Gauss relativa alla distribuzione statistica dei valori della resistenza a compressione dei provini di calcestruzzo.

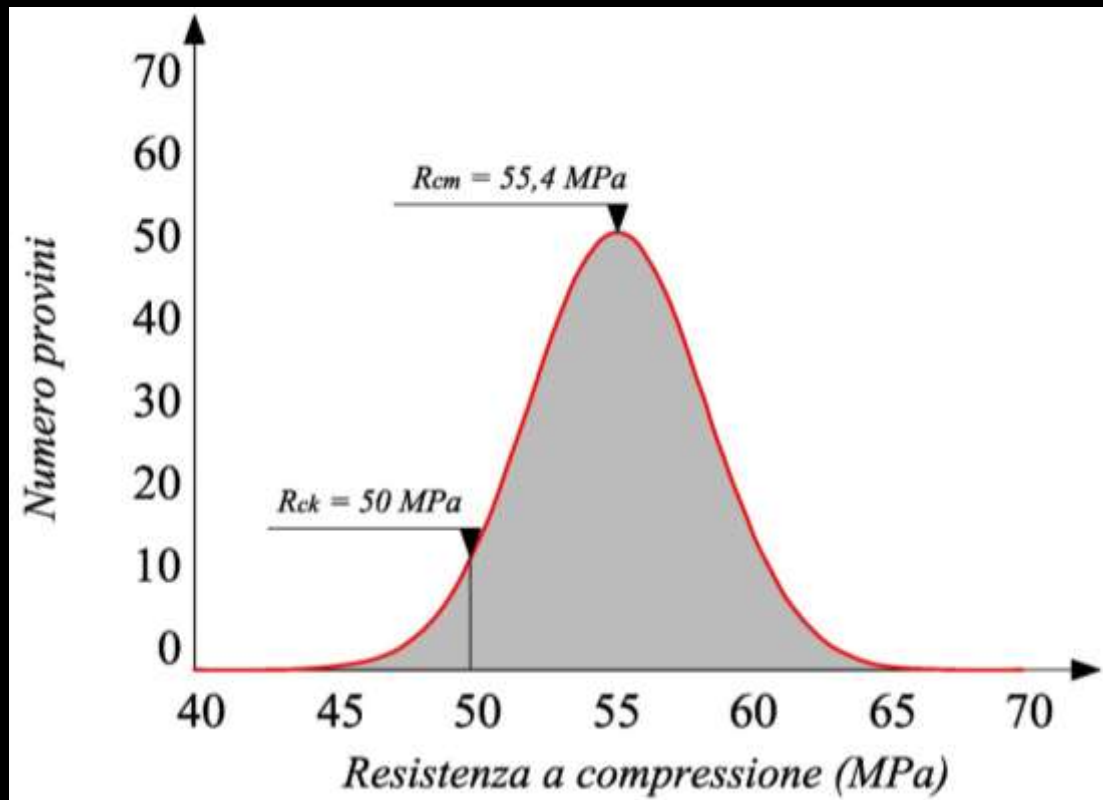


# Il Calcestruzzo

## Resistenza a compressione

$$R_{cm} = R_{ck} + K s$$

$K = 1.64$  per  $R_{ck}$  considerata come valore al di sotto della quale cade il 5% dell'area sottesa alla distribuzione della curva;  
( $s$  = deviazione standard)



# Il Calcestruzzo

## Resistenza a compressione

Secondo il D.M. LL.PP. 9/1/96 (Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione e il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche) un calcestruzzo viene individuato tramite la resistenza caratteristica a compressione a 28gg. ( $R_{ck}$  o  $f_{ck}$ ).

In cantiere sono previsti due tipi di controllo di qualità per accertare che il conglomerato abbia una resistenza caratteristica non inferiore a quella richiesta dal progettista.

# Il Calcestruzzo

## Resistenza a compressione

Il controllo di accettazione di tipo A è effettuato con almeno tre prelievi, ciascuno dei quali eseguito su un massimo di 100 m<sup>3</sup> di getto di miscela omogenea e prevede che:

$$R_{media} > R_{ck} + 3.5 \text{ MPa} \quad \text{e} \quad R_{min} > R_{ck} - 3.5 \text{ MPa}$$

Nelle costruzioni con più di 1500 m<sup>3</sup> di miscela omogenea, è ammesso anche un controllo di accettazione di tipo statistico (almeno 15 provini) detto controllo di tipo B



TIPO A



TIPO B

# Il Calcestruzzo

## Resistenza a compressione

Le *classi di resistenza* previste dalla normativa fanno riferimento alla cosiddetta resistenza caratteristica del calcestruzzo.

La Norma UNI EN 206-1 (Tabella 4.3.1) prevede varie classi di resistenza a compressione su cubo ( $R_{ck}$ ) o su cilindro ( $f_{ck}$ ).

Classe	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	.....	C50/60
$f_{ck}$	12	16	20	25	.....	50
$R_{ck}$	15	20	25	30	.....	60

# Il Calcestruzzo

## Resistenza a compressione

**Viene misurata la resistenza a compressione a 28 giorni ottenuta su provini cubici provenienti da due impianti di betonaggio A e B.**

**I risultati su 15 campioni hanno dato i seguenti risultati:**

25.7	38.6	30.2	28.5	36.9	40.7	30.1	27.7	32.4	34.4	35.7	30.3	27.8	38.6	31.6
29.0	30.0	28.5	25.0	33.0	29.5	28.4	30.6	27.6	29.6	30.9	25.5	35.0	31.3	26.8

**Valutare il controllo di qualità dei due impianti.**

# Il Calcestruzzo

## Resistenza a compressione

**Resistenza media impianto A** **32.6 MPa**

**Resistenza media impianto B** **29.4 MPa**

**Deviazione standard Impianto A** **4.6 MPa**

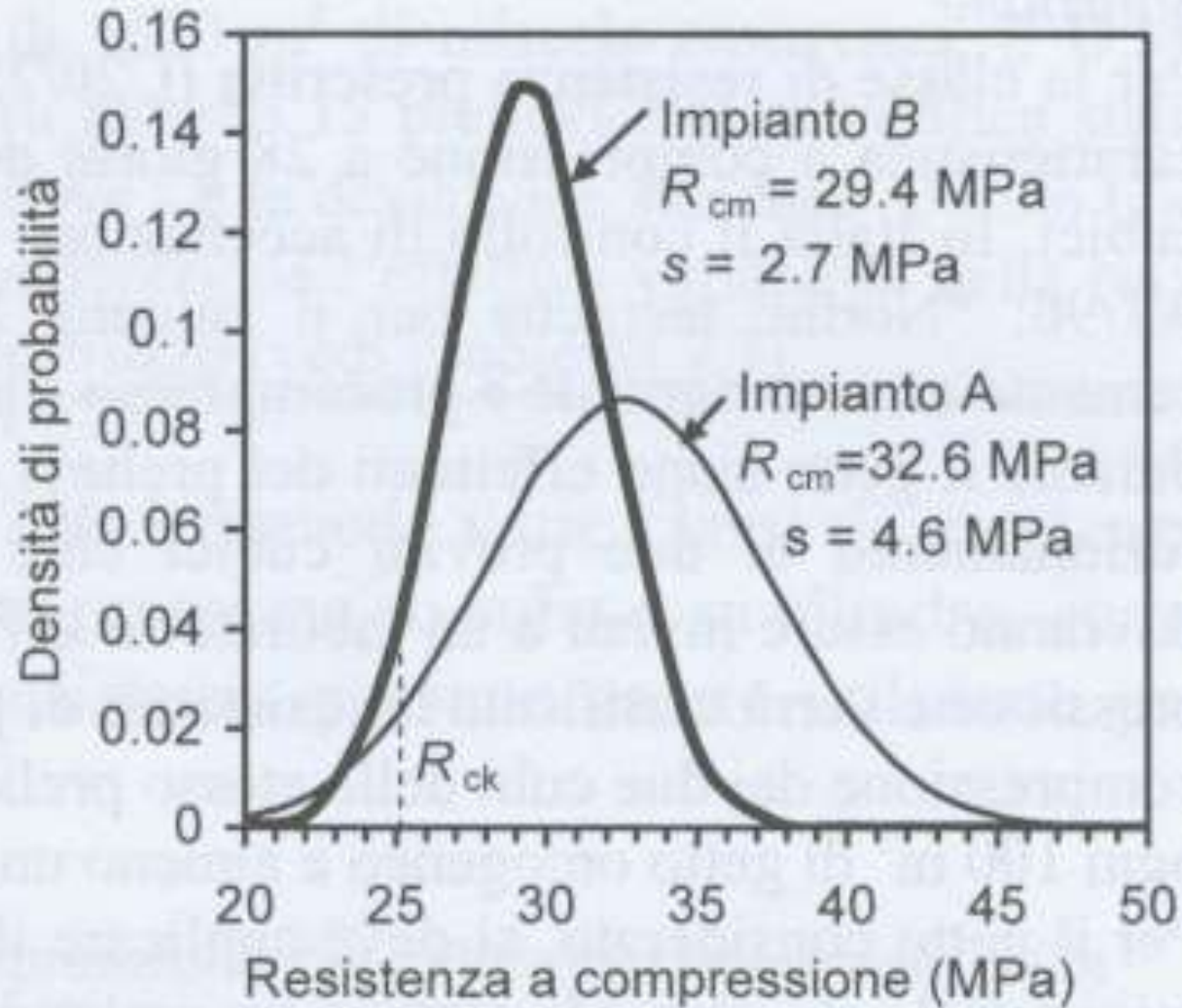
**Deviazione standard Impianto B** **2.7 MPa**

$$R_{ck} A = R_m - 1.64 \times s = 32.6 - 1.64 \times 4.6 = 25 \text{ MPa}$$

$$R_{ck} B = R_m - 1.64 \times s = 29.4 - 1.64 \times 2.7 = 25 \text{ MPa}$$

# Il Calcestruzzo

## Resistenza a compressione



# Il Calcestruzzo

Resistenza a compressione

**I calcestruzzi prodotti dai due impianti sono equivalenti appartenendo entrambi alla classe C 20/25.**

**Peraltro il calcestruzzo confezionato nell'impianto B mostra una curva di distribuzione più "stretta" rispetto all'impianto A e quindi con una minore dispersione dei dati intorno al valore medio.**

# Il Calcestruzzo

Resistenza a compressione

**Su quali fattori agire per avere un prodotto più costante:**

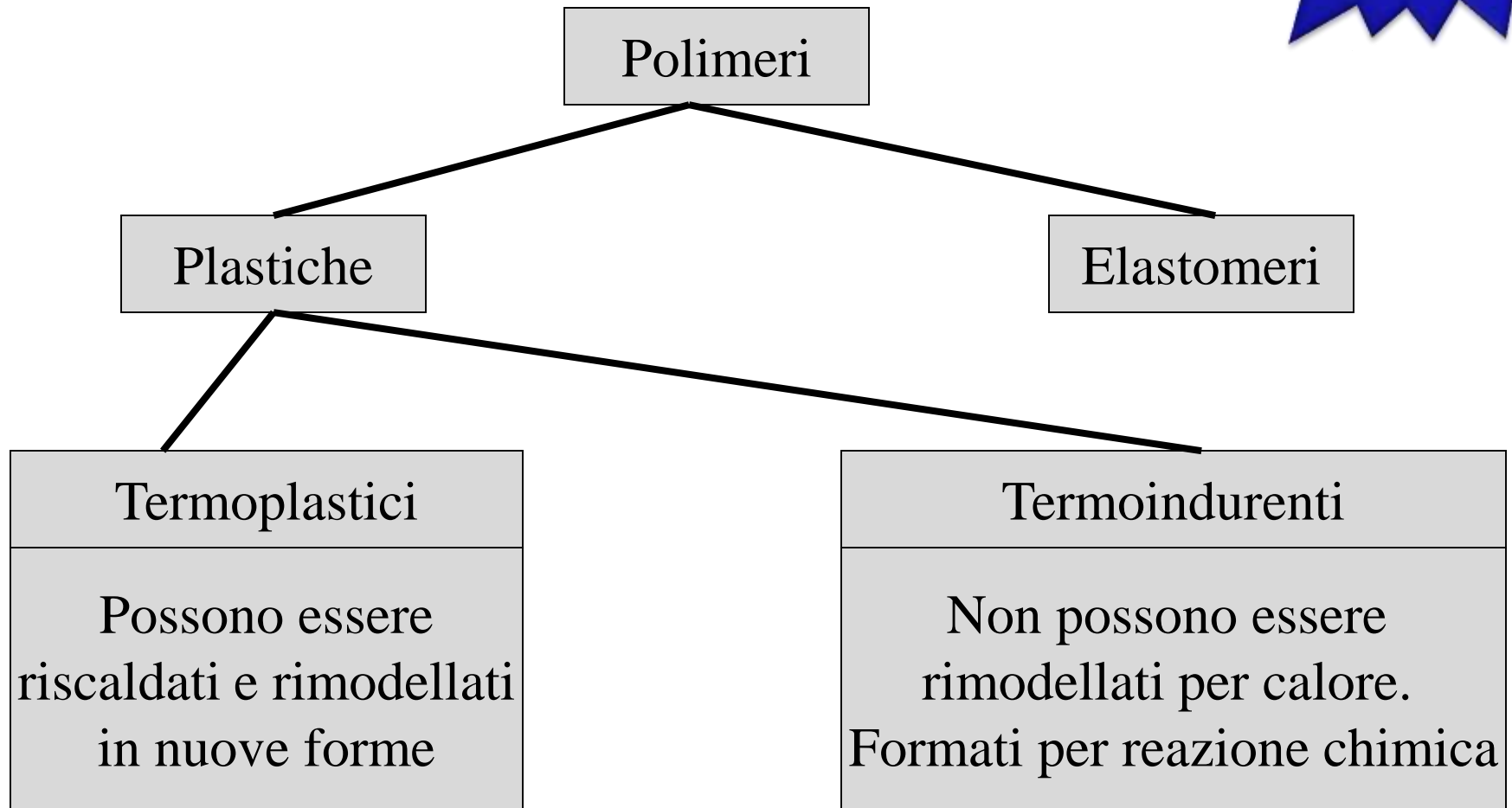
- 1. Maggiori verifiche sui cementi in ingresso**
- 2. Controllare meglio la distribuzione granulometrica**
- 3. Controllare l'umidità dell'aggregato**

# I Materiali Polimerici

# Introduzione ai Polimeri

*Polimeri*

- Polimero → molte tipi



# Plastiche - Vantaggi

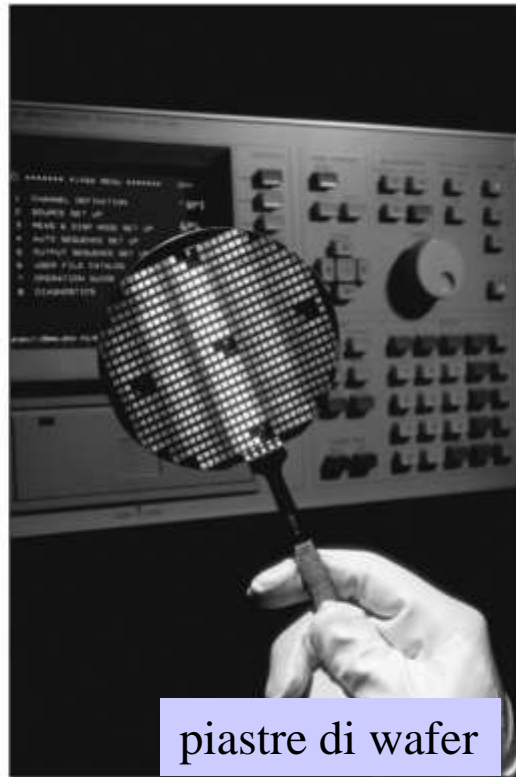
Polimeri

- Ampia gamma di proprietà
- Minime operazioni di finitura
- Minima lubrificazione
- Buoni isolanti
- Bassa densità
- Riduzione di rumore



controllo  
remoto

(a)



piastre di wafer

(b)



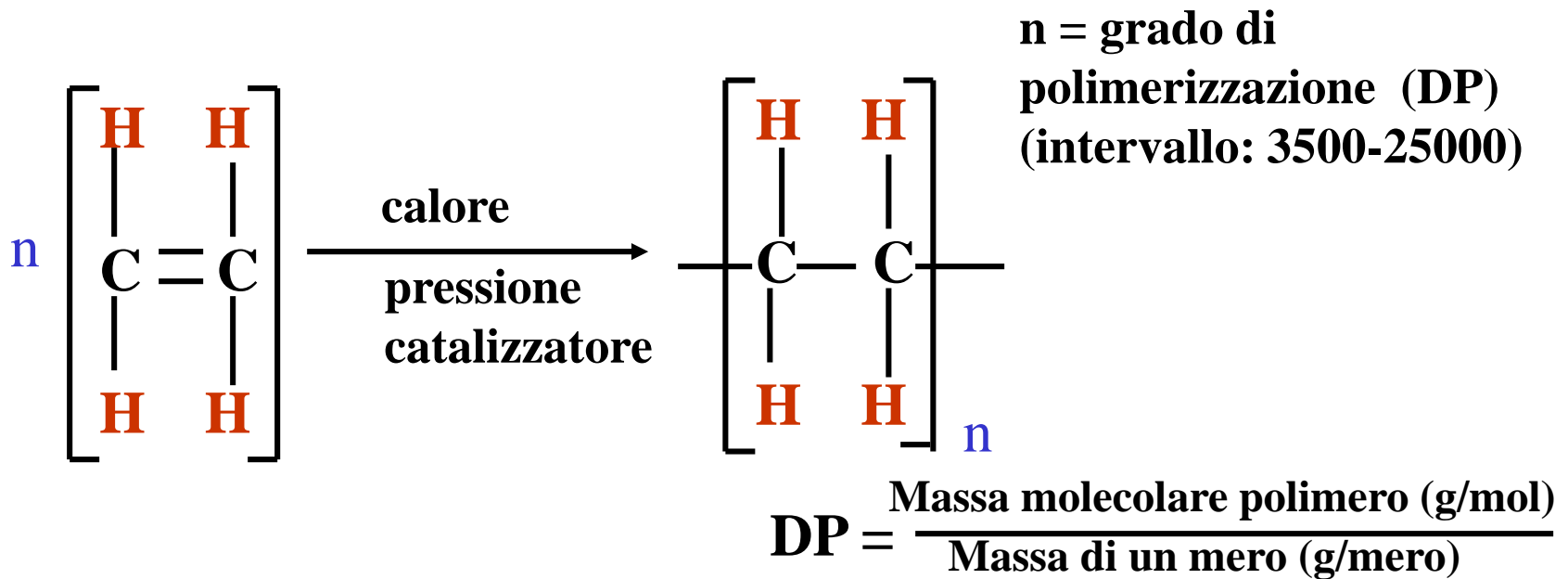
collettore di aspirazione d'aria

(c)

# Polimerizzazione

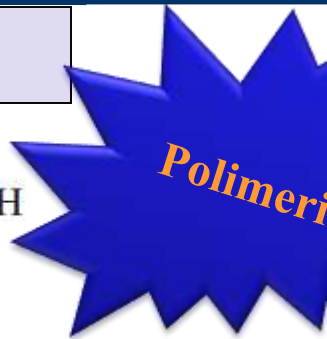


- **Polimerizzazione per crescita di catena:** piccole molecole legate covalentemente per formare lunghe catene (monomeri)
- Esempio: etilene



- **Funzionalità:** numero di legami attivi in un monomero

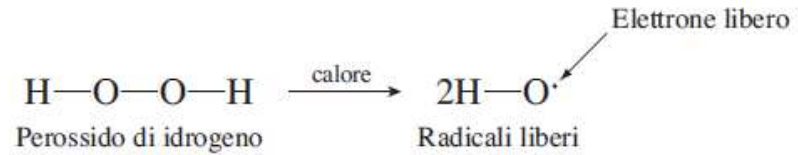
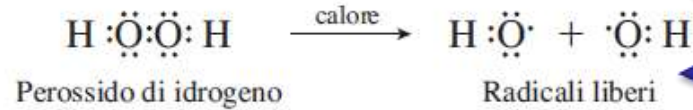
# Polimerizzazione a Catena - Stadi



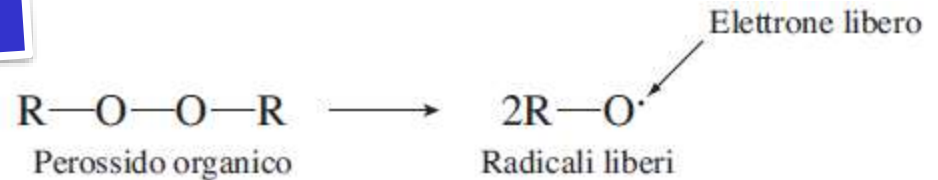
- **Iniziazione:**

- è necessario un radicale
- esempio:  $H_2O_2$

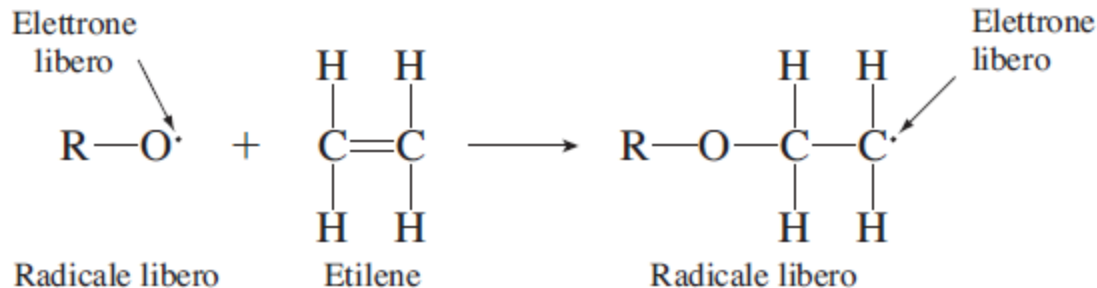
Un radicale libero può essere definito come un gruppo di atomi con un elettrone spaiato che può legarsi covalentemente con un elettrone spaiato di un'altra molecola



## In generale



- Uno dei radicali liberi reagisce con la molecola di etilene per formare un radicale libero con catena più lunga



## Polimerizzazione a Catena - Stadi

Polimeri

- **Propagazione:** processo di estensione della catena polimerica per addizione di monomeri



- L'energia del sistema viene abbassata dal processo di polimerizzazione
- **Terminazione:**
  - per addizione di un radicale libero di terminazione
  - combinazione di due catene
  - impurezze

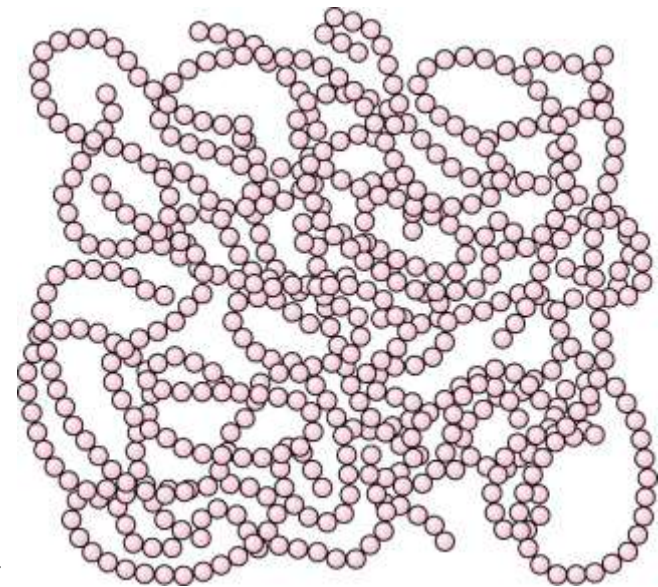
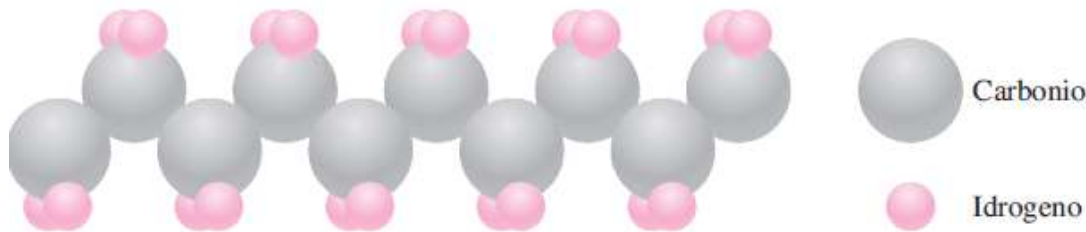


Accoppiamento di due catene

# Struttura di Polimeri Lineari non cristallini

Polimeri

- Configurazione a zig-zag nell'etilene dovuta all'angolo di  $109^\circ$  tra i legami covalenti del carbonio
- Le catene sono casualmente aggrovigliate

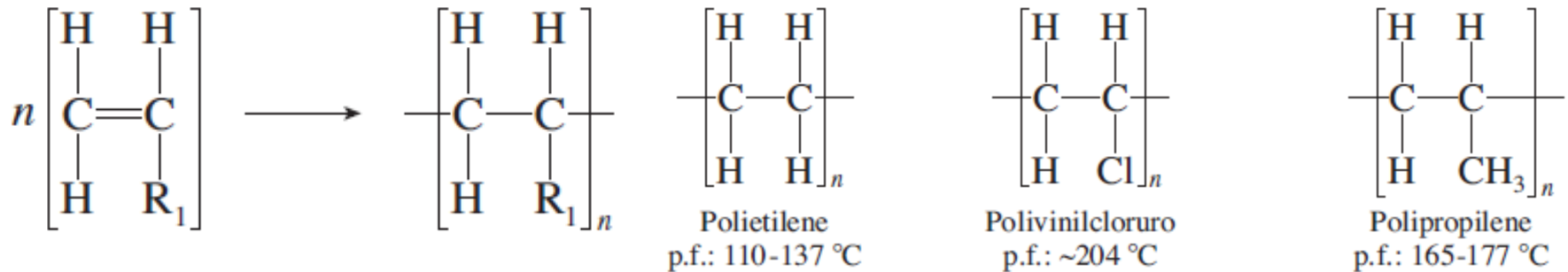


- L'aggrovigliamento aumenta la resistenza meccanica a trazione (legami dipolo tra le catene)
- La ramificazione diminuisce la resistenza meccanica a trazione (viene allentato l'impacchettamento)

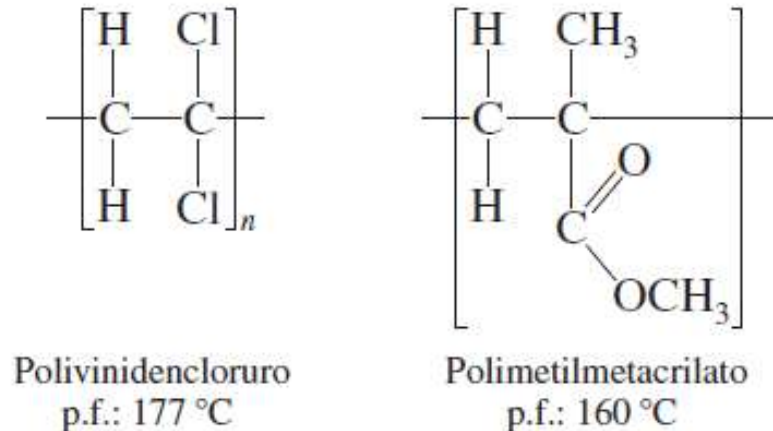
# Polimeri Vinilici e Vinilidenici

Polimeri

- Polimeri vinilici:** un atomo di idrogeno viene sostituito da un altro atomo o da un gruppo di atomi



- Polimeri vinilidenici:** sia l'idrogeno sia il carbonio sono sostituiti da un altro atomo o da un gruppo di atomi



# Omopolimeri e Copolimeri

Polimeri

- **Omopolimeri:** la catena polimerica è costituita da una singola unità ripetitiva

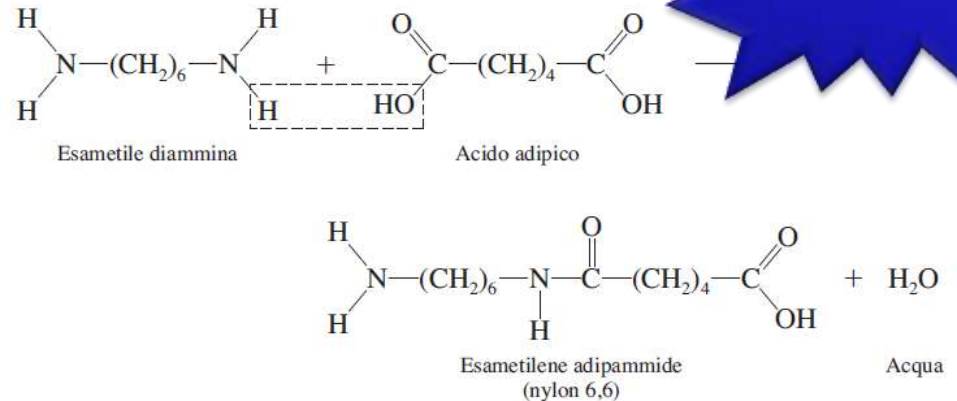
Esempio: AAAAAAAAAA

- **Copolimeri:** le catene polimeriche sono costituite da due o più unità ripetitive
  - **copolimeri casuali:** monomeri differenti inseriti casualmente nelle catene. Es.: ABBABABBAAAAABA
  - **copolimeri alternati:** ordine alternato definito di monomeri diversi. Es.: ABABABABABAB
  - **copolimeri a blocchi:** monomeri diversi disposti in lunghe sequenze (blocchi). Es.: AAAAAA.....BBBBBBBBB.....
  - **copolimeri a innesto:** un tipo di monomero inserito alla lunga catena di un altro. Es.: AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA

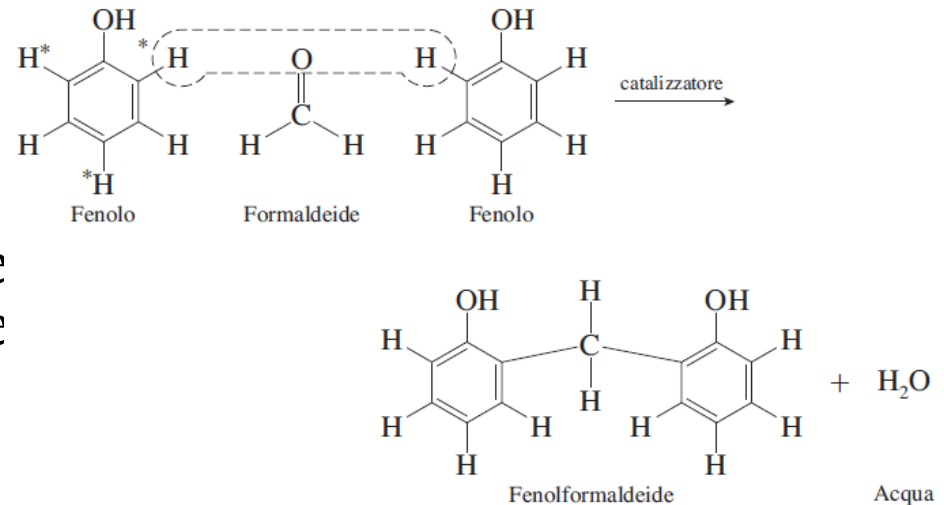
<b>B</b>	<b>B</b>
<b>B</b>	<b>B</b>
<b>B</b>	<b>B</b>

# Altri metodi di Polimerizzazione

- **Polimerizzazione a stadi:**  
i monomeri reagiscono chimicamente tra loro per produrre polimeri lineari e una piccola molecola come prodotto secondario



- **Polimerizzazione per reticolazione:**  
la reazione chimica avviene in più di due siti di reazione (rete 3D). È quella che avviene produzione di materie plastiche termoindurenti

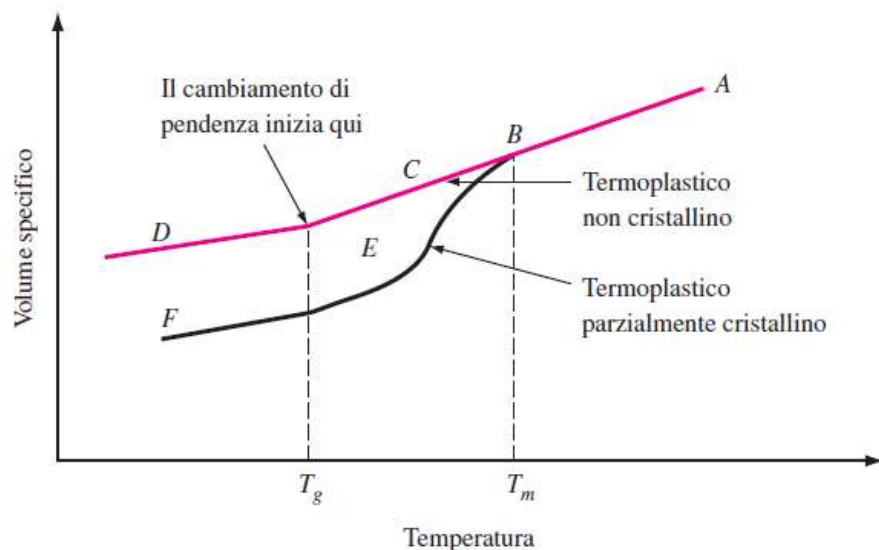


Polimeri

# Solidificazione dei Termoplastici

Polimeri

- Non c'è una variazione improvvisa del volume specifico nel raffreddamento di un termoplastico non cristallino (es. Polipropilene)



$T_g$  = temperatura di transizione vetrosa

vetro fragile ← sotto  $T_g$  sopra → gommoso

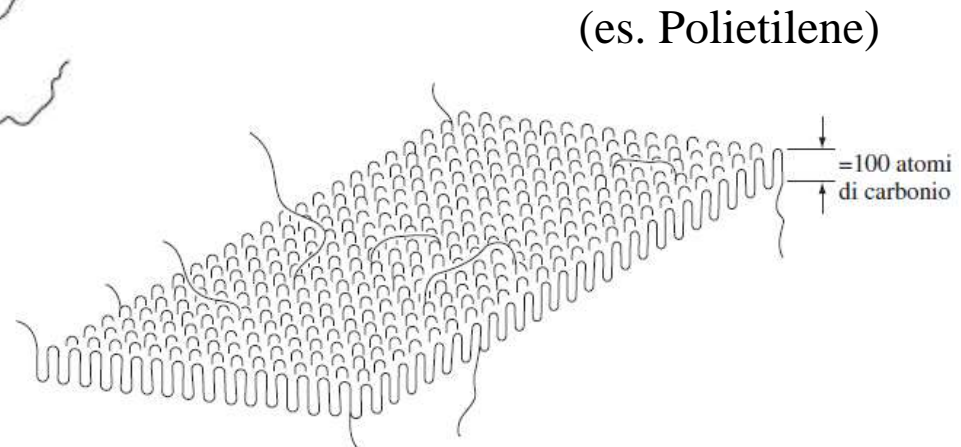
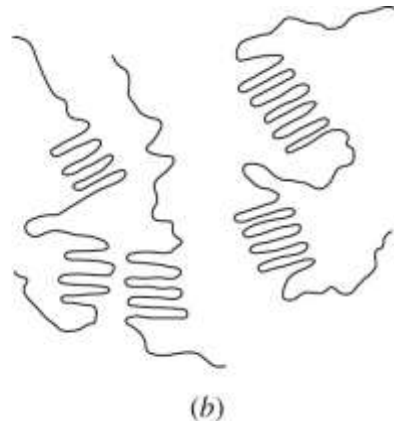
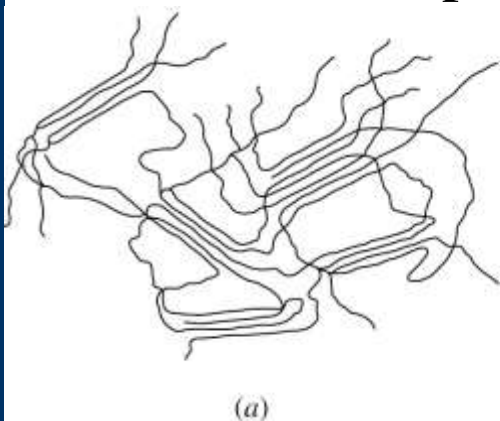
$T_g$  per poliestere:  $-110^\circ\text{C}$   
per PVC:  $82^\circ\text{C}$

Per i termoplastici parzialmente cristallini, avviene una repentina diminuzione nel volume specifico dovuta al maggiore impacchettamento delle catene polimeriche (es. Polietilene)

# Struttura di termoplastici parzialmente cristallini

Polimeri

- Maggiore lunghezza delle regioni cristalline: 5-50 nm
- **Modello della micella frangiata:** lunghe catene polimeriche di 5000 nm disposte in successione e disordinate per tutta la lunghezza della molecola polimerica
- **Modello della catena ripiegata:** sezioni delle catene molecolari ripiegate su se stesse



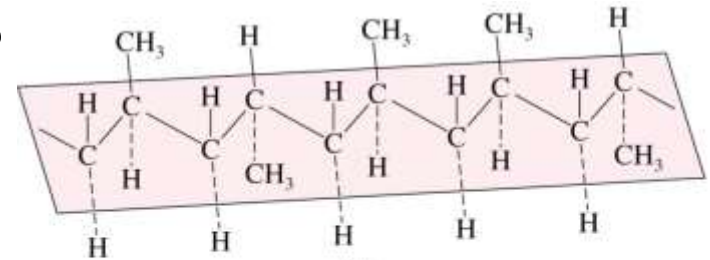
# Stereoisomerismo nei Termoplastici

- **Stereoisomero**: stessa composizione chimica, ma differente disposizione strutturale (es. Polipropilene)

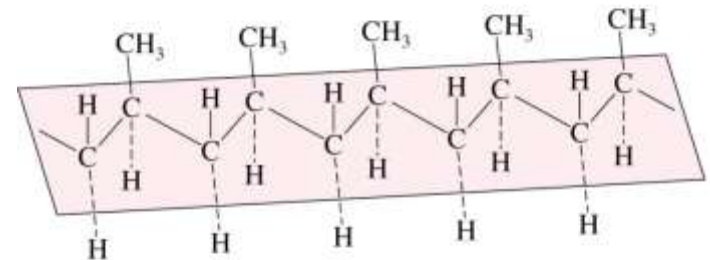
Con l'uso di un catalizzatore stereospecifico si ottiene la polimerizzazione ISOTATTICA. Nel caso del Polipropilene isotattico si ha una struttura altamente cristallina con punto di fusione compreso tra i 165 e 175 °C. questo materiale ha maggiore resistenza meccanica e maggiore stabilità dimensionale termica del Polipropilene atattico.

Polimeri

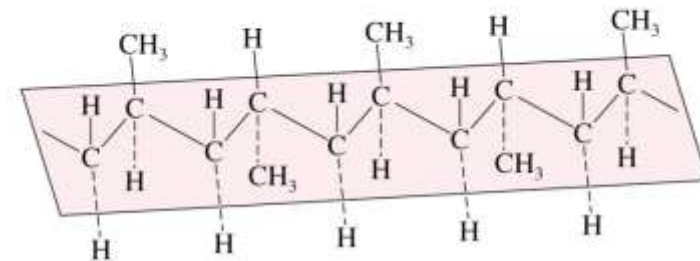
ico  
na



(a)



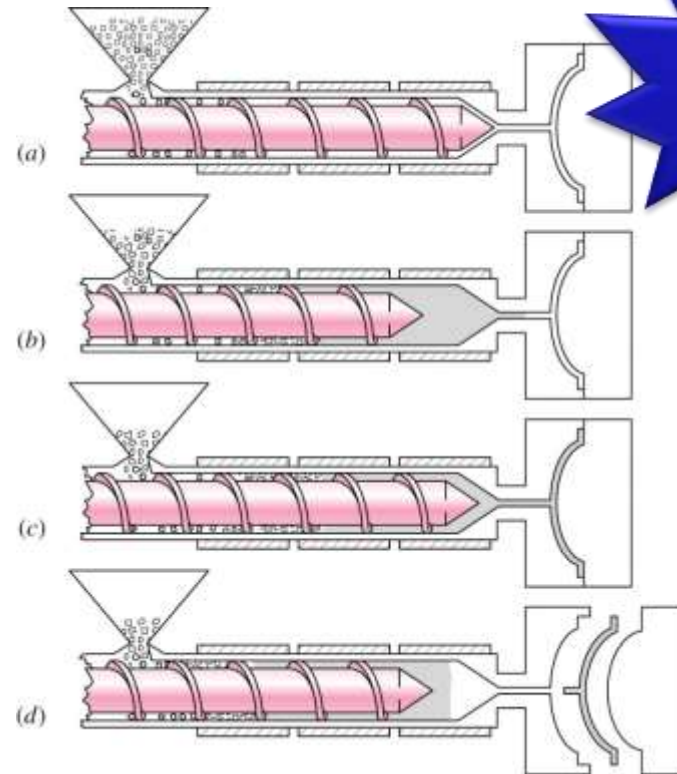
(b)



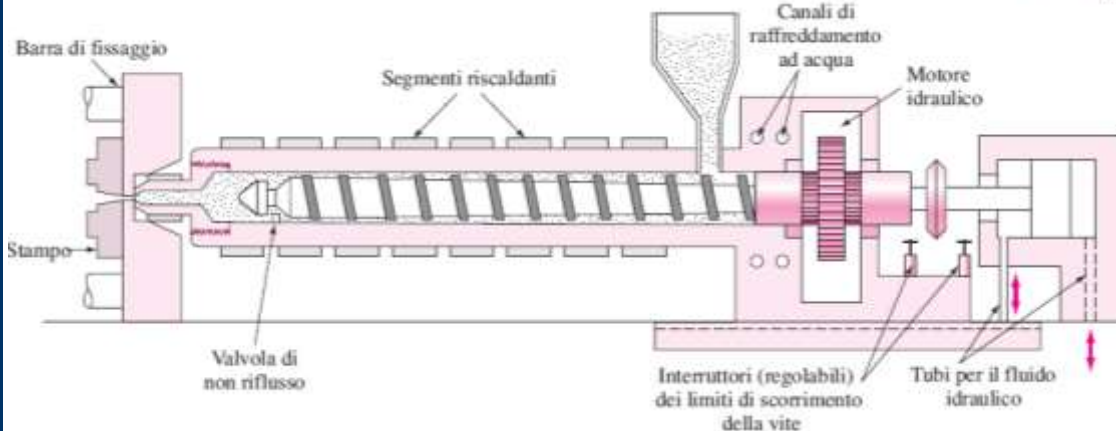
(c)

# Lavorazione dei Materiali Polimerici

- **Stampaggio a iniezione:** utilizza un meccanismo di vite reciproca
- Avanzamento più uniforme del fuso da iniettare
- Alta qualità, basso costo di mano d'opera, ma alto costo iniziale



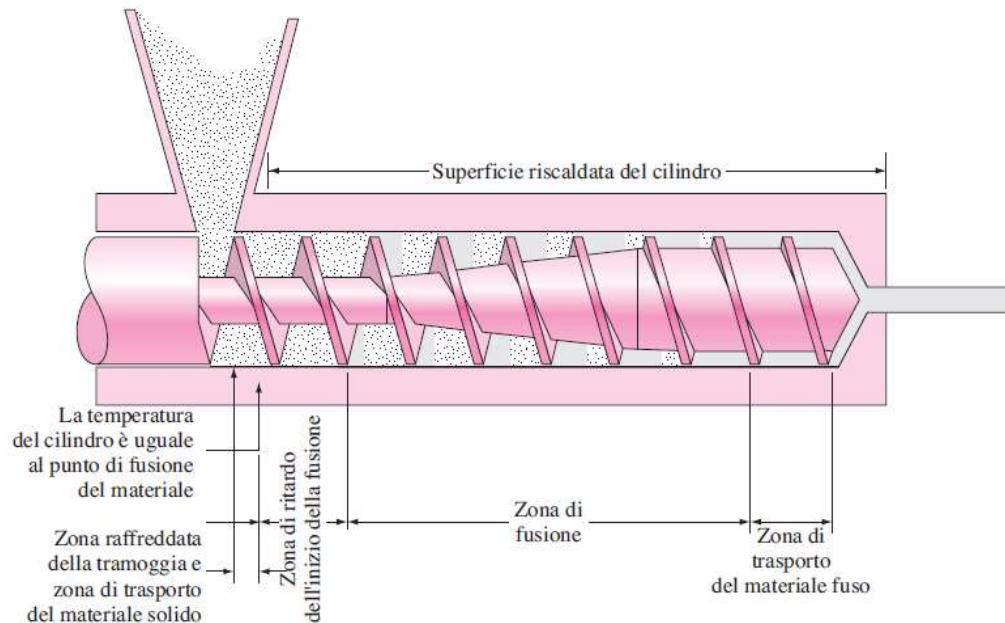
Polimeri



## Estrusione, Stampaggio per Soffiatura e Termoformatura

Polimeri

- **Estrusione:** la plastica fusa è forzata da una vite rotante in una matrice per produrre tubi, barre etc.

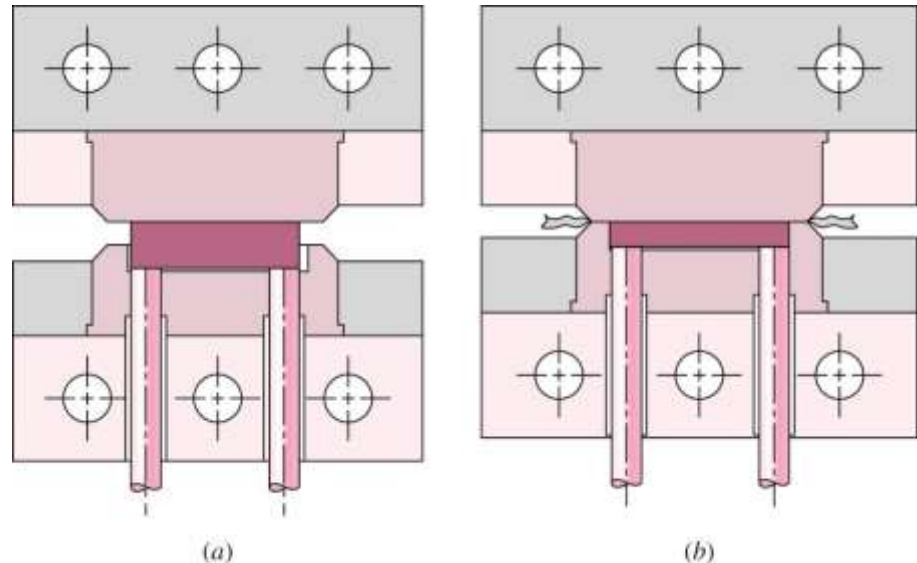


- **Stampaggio per soffiatura:** l'aria compressa viene insufflata in un cilindro o tubo riscaldato di plastica per comprimerla contro la parete dello stampo
- **Termoformatura:** un foglio di plastica riscaldata viene forzato per pressione contro le pareti dello stampo

# Processi per Termoindurenti

Polimeri

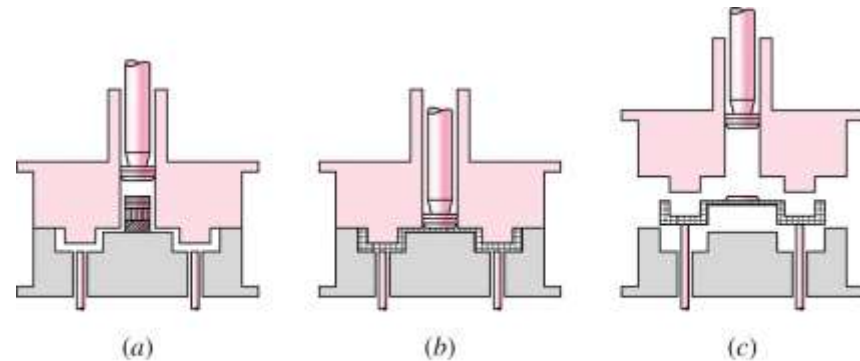
- **Stampaggio per compressione:** viene applicata pressione, tramite la parte superiore dello stampo, alla plastica riscaldata e la plastica riempie le cavità
  - basso costo iniziale, semplice
  - bassa usura ed abrasione degli stampi
  - difficoltà di stampare parti complesse
  - si formano sbavature



# Stampaggio per Trasferimento



- Un pistone forza la materia plastica, posta in una camera fuori dallo stampo, nelle cavità dello stampo mediante canali ed aperture
  - Non si formano sbavature
  - Più pezzi nello stesso tempo
  - Può essere utilizzata per parti piccole e complesse



- Lo stampaggio per iniezione si usa anche per lavorare i materiali termoindurenti
- Speciali camicie di riscaldamento-raffreddamento vengono aggiunte alle tradizionali macchine di stampaggio per iniezione



(d)

(e)

# Materiali Termoplastici per Uso Generale

Polimeri

- Polietilene, polivinil-cloruro (PVC), polipropilene e i poliesteri rappresentano la maggior parte delle vendite dei materiali polimerici

**Tabella 10.2** Alcune proprietà di alcuni termoplastici per uso generico

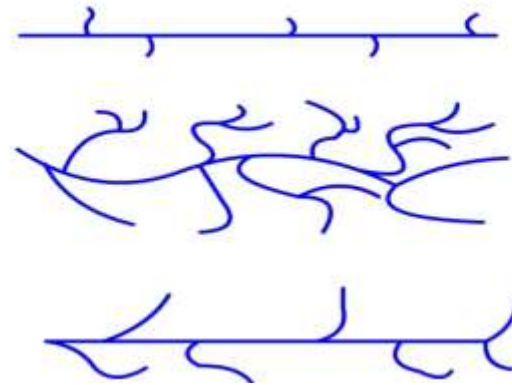
Materiale	Densità g/cm <sup>3</sup>	Resistenza trazione, MPa	Resistenza all'impatto Izod, J/m	Rigidità dielettrica V/mm	Massima temperatura senza carico °C
Polietilene:					
bassa densità	0.92-0.93	6-17	-	1900	80-100
alta densità	0.95-0.96	20-37	20-750	1900	80-120
PVC rigido, clorurato	1.49-1.58	52-62	50-300	-	110
Polipropilene, uso generale	0.90-0.91	33-38	20-120	25 000	110-150
Stirene-acrilonitrile (SAN)	1.08	69-83	20-27	70 000	60-105
ABS, uso generale	1.05-1.07	41	320	1500	70-95
Acrilati, uso generale	1.11-1.19	76	120	17 700-19 700	55-110
Cellulosici, acetati	1.2-1.3	21-55	60-360	9800- 23 500	60-105
Politetrafluoroetilene	2.1-2.3	7-28	130-210	15 800- 19 700	290

Fonte: *Materials Engineering*, May 1972.

# Polietilene (PE)

Polimeri

- Termoplastico trasparente, tendente al bianco translucido
- Tipologie:
  - alta densità (HDPE)
  - bassa densità (LDPE)
  - lineare a bassa densità (LLDPE)



**Tabella 10.3** Alcune proprietà del polietilene ad alta e a bassa densità

Proprietà	Polietilene a bassa densità	Polietilene lineare a bassa densità	Polietilene ad alta densità
Densità, g/cm <sup>3</sup>	0.92-0.93	0.922-0.926	0.95-0.96
Resistenza a trazione, MPa	0.9-2.5	1.8-2.9	2.9-5.4
Allungamento, %	550-600	600-800	20-120
Cristallinità, %	65	...	95

- Applicazioni: contenitori, isolamento termico, tubature per impianti chimici, bottiglie, oggetti per uso domestico etc.

# Polivinilcloruro e Copolimeri



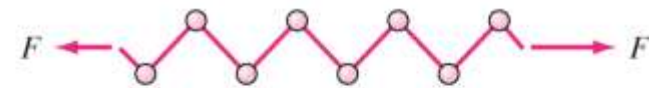
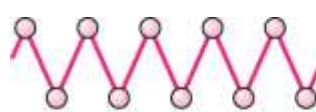
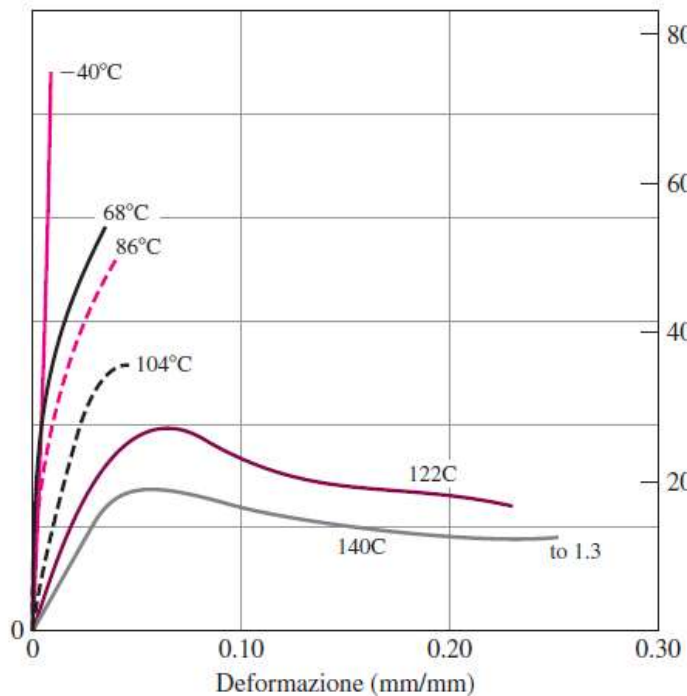
Polimeri

- Il PVC è amorfo, non ricristallizza
- Gli atomi di cloro producono forti momenti di dipolo e causano anche repulsione elettrostatica
- L'omopolimero PVC ha alta resistenza meccanica (52-62 MPa) ed è fragile
- **Compounding del PVC:** si modificano ed aumentano le proprietà
  - *plasticizzanti:* forniscono flessibilità. Es.: ftalati
  - *stabilizzanti termici:* prevengono la degradazione termica. Es.: composti di piombo e di stagno
  - *lubrificanti:* aiutano lo scorrimento del fuso del PVC. Es.: esteri grassi e saponi metallici
  - *riempitivi:* abbassano i costi. Es.: carbonato di calcio
  - *pigmenti:* danno il colore

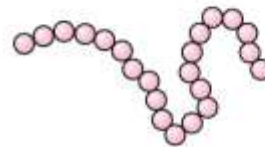
# Deformazione dei Polimeri Termoplastici

Polimeri

- Sotto  $T_g$   $\longrightarrow$  deformazione elastica
- Sopra  $T_g$   $\longrightarrow$  deformazione plastica



(a) Deformazione elastica



(b) Deformazione elastica o plastica



(c) Deformazione plastica

# Il Degrado dei Materiali

**“...la coerenza è intrinsecamente transitoria e si sgretola, trasformandosi in incoerenza, se la struttura non viene sorretta da un flusso di energia.**

**...la struttura profonda di una trasformazione è costituita dal decadimento. Alle radici vi è solamente il degrado e l'inarrestabile ondata del caos: non vi è un fine; tutto ciò che rimane è la direzione”**

**Atkins P.W., Il Secondo Principio, 1989 (1984)**

# I Materiali

Il tempo dell'edificio

















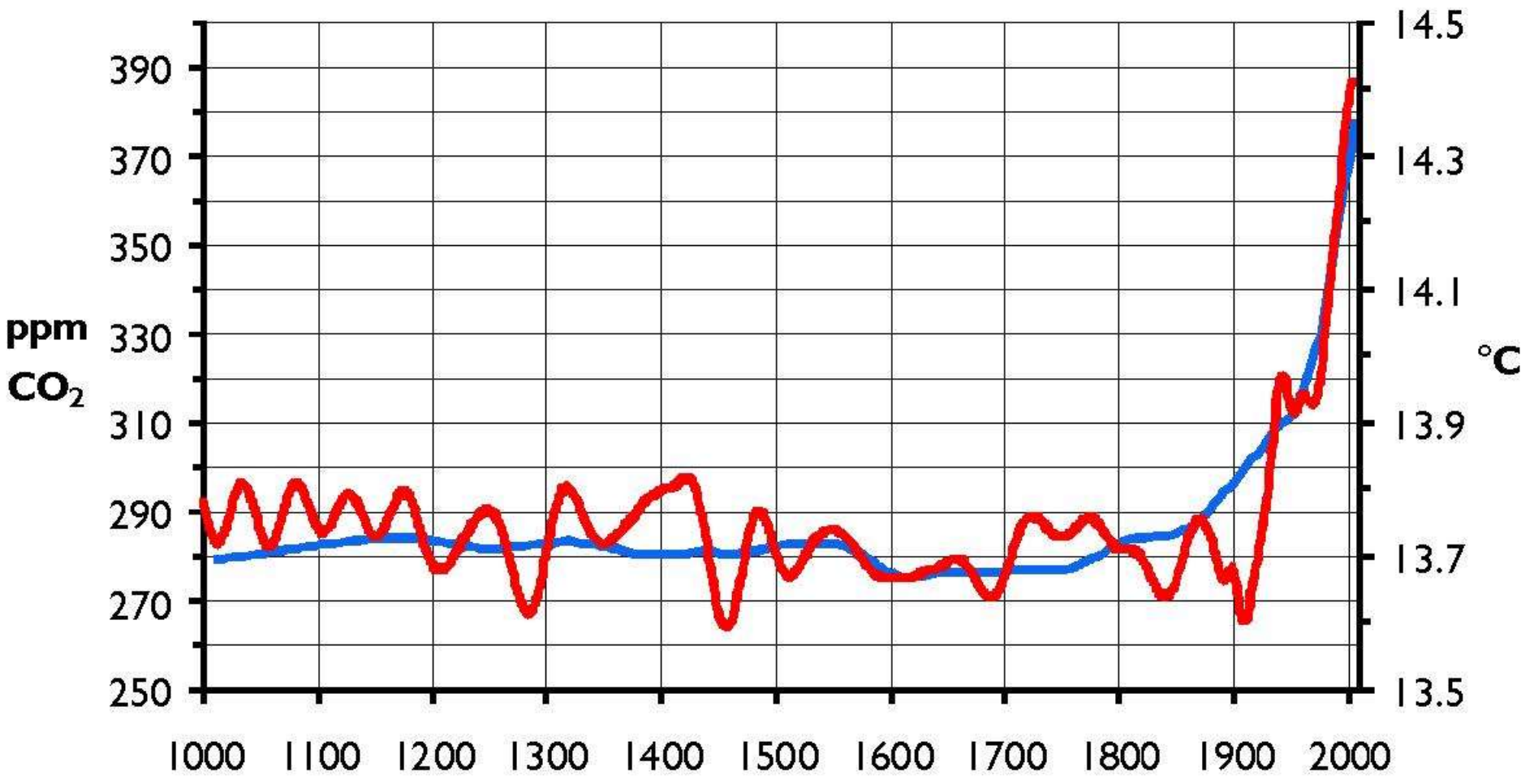










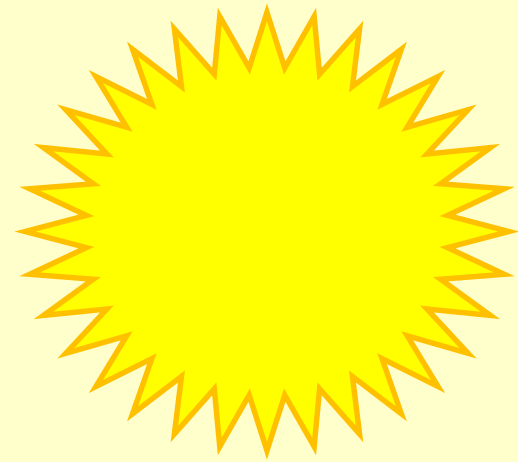




# Il Degrado dei Materiali

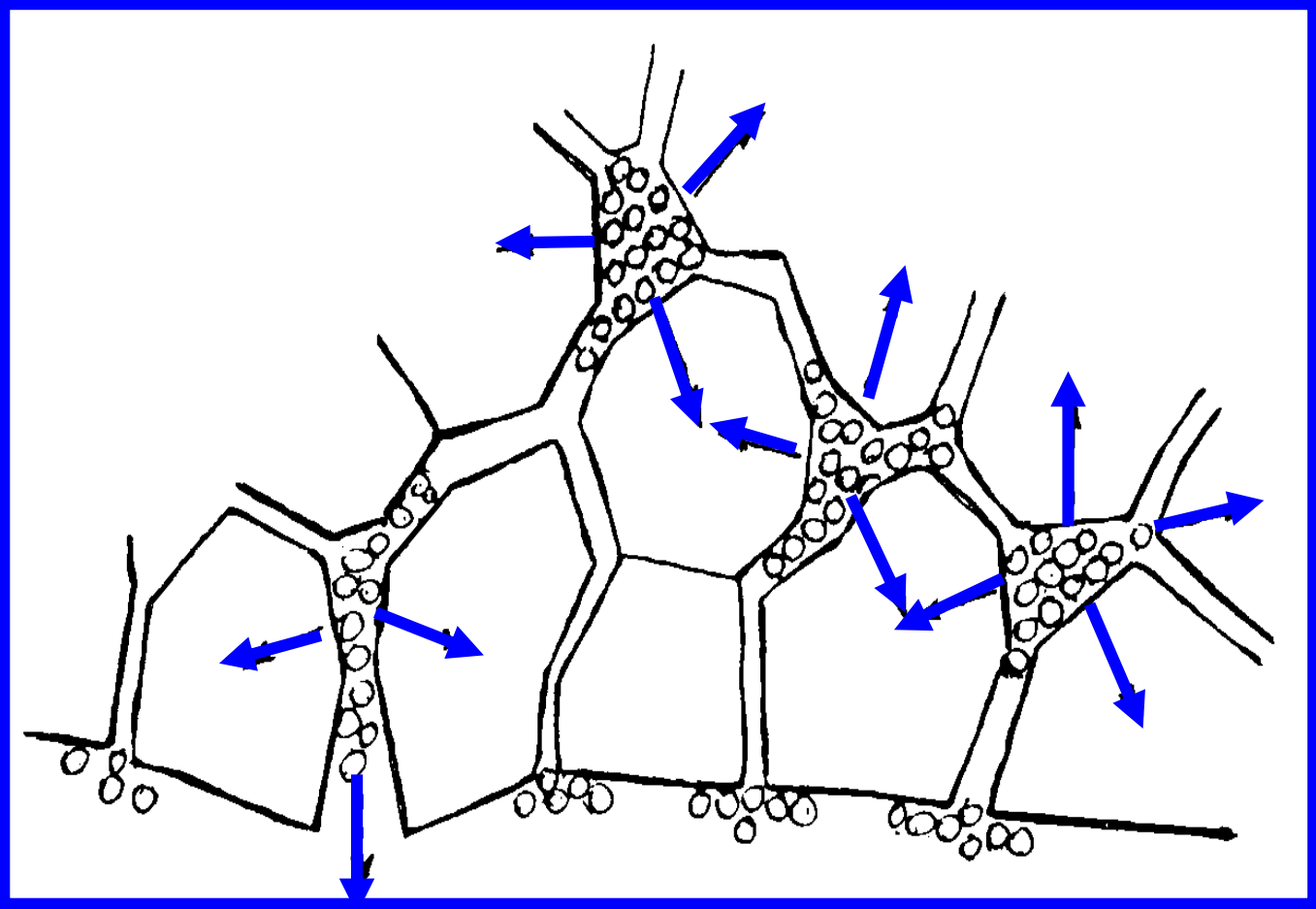
Gelo - Disgelo











# Il Degrado dei Materiali

Cristallizzazione Salina





# Il Degrado dei Materiali

Colonizzazione biologica





# Il Degrado dei Materiali

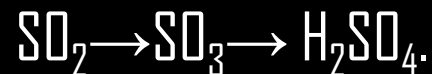
Le croste nere

## Croste Nere

La presenza degli ossidi di zolfo nell'atmosfera legata a fenomeni di inquinamento è responsabile, soprattutto sulle superfici calcaree, della formazione delle cosiddette "croste nere".



dove l'acido solforico rappresenta il prodotto finale delle trasformazioni dell'anidride solforosa





2007/10/09 15:55



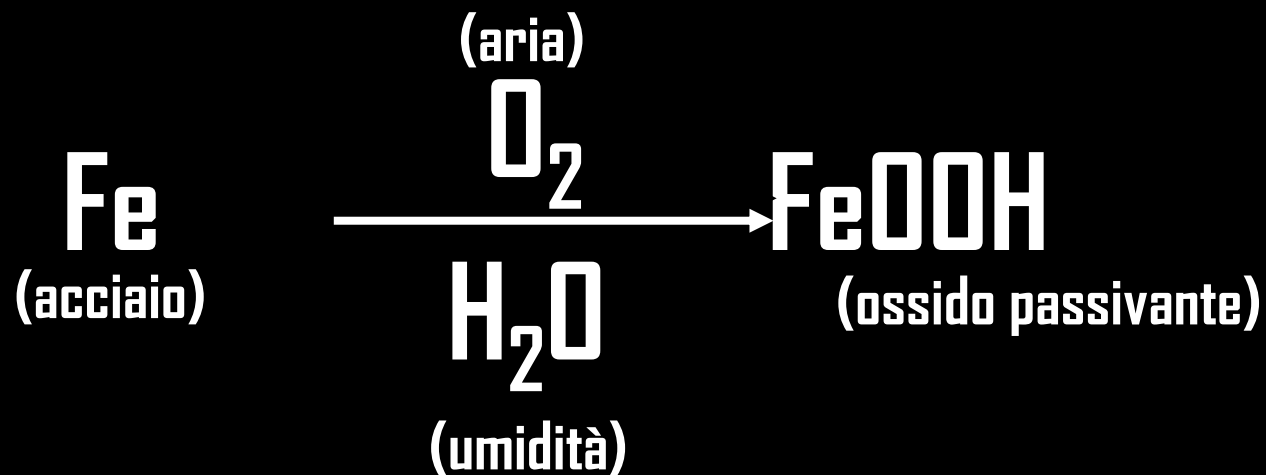


# Il Degrado dei Materiali

Il degrado del calcestruzzo

## Passivazione del ferro nel CLS

In ambiente basico e in presenza di ossigeno il ferro si ricopre di un ossido protettivo che lo preserva dalla corrosione.



Per effetto della aggressione da parte della  $\text{CO}_2$  (tenori da 0.04 % in ambiente rurale a 0.4 % e più, in ambiente urbano) passando via via dagli strati più esterni a quelli più interni, la portlandite si carbonata ed il pH si abbassa progressivamente.



Il venir meno delle condizioni di passività (a partire da  $\text{pH} < 11.5$  ma che diventano devastanti quando il valore scende a 9) rende possibile il processo corrosivo nei confronti del ferro da parte dell'acqua e dell'ossigeno.

La carbonatazione distrugge quindi completamente il film passivo di ossido e l'attacco si presenta uniformemente distribuito su tutta la superficie dell'armatura.

## Condizioni operative

Il trasporto dell'anidride carbonica avviene facilmente in fase gassosa, ma molto più lentamente nei pori saturi di acqua

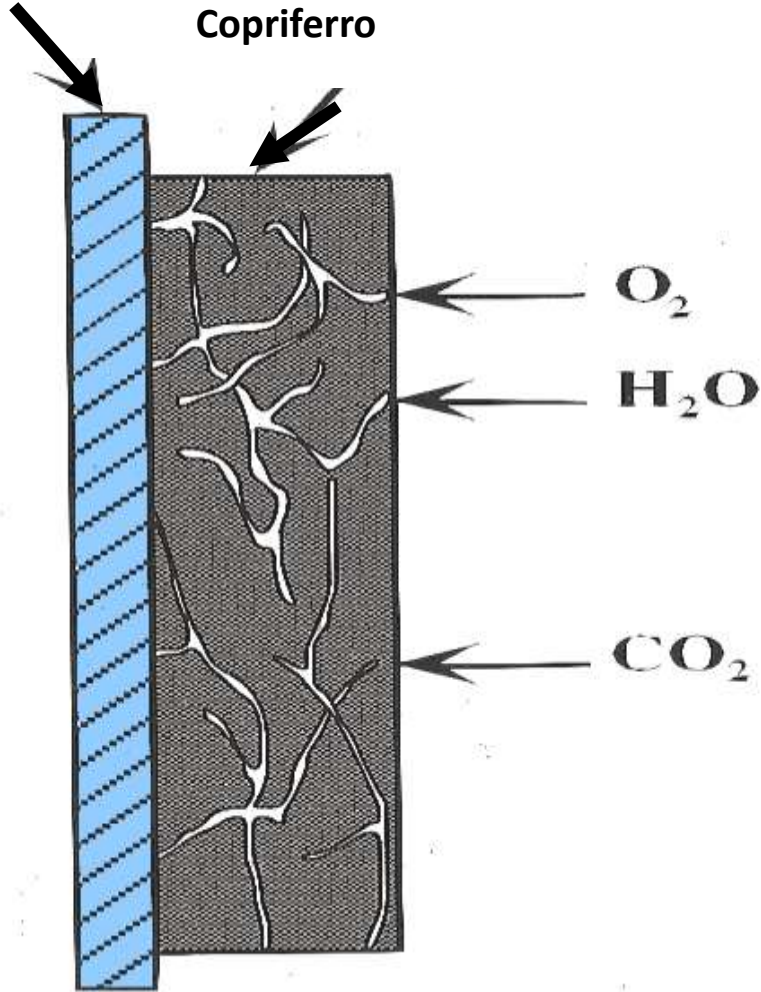
(differenza tra le due velocità di diffusione =  $10^4$ ).

Per contro la carbonatazione vera e propria avviene solo in presenza di acqua.

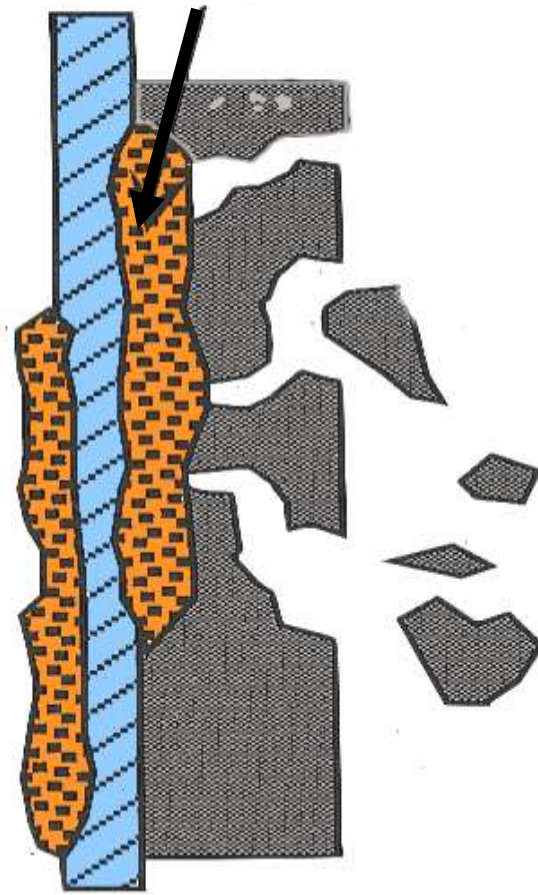
Per questi due motivi contrastanti l'intervallo di umidità più critico è compreso tra il 50 e l'80 %.

Armatura

Copriferro



Prodotti di corrosione







27/10/2011 16:42





JEK

PIE ZI  
zi

GRAND

g

SO

ONE KHANN

FE





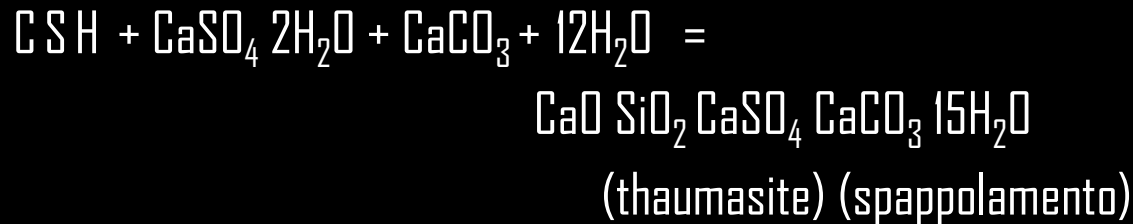
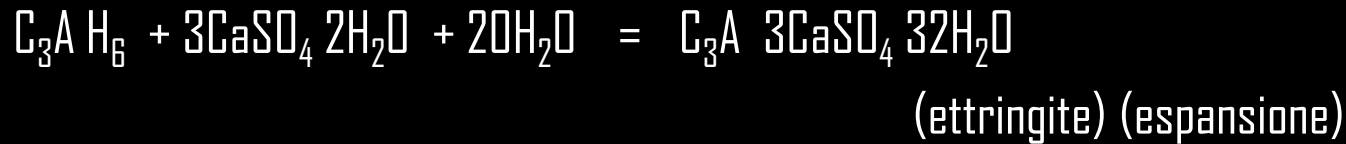
## Corrosione delle armature – Attacco dei cloruri

L'aggressione da parte dei cloruri è in generale di tipo localizzato con attacchi di limitata estensione che danno origine a veri e propri crateri (*pit*) dopo aver neutralizzato l'eventuale film di ossido presente.

A differenza di quanto accade con la carbonatazione dove l'effetto aggressivo dell'anidride carbonica si manifesta con macchie di ruggine sulla superficie esterna del calcestruzzo, nel caso del *pitting* la superficie può rimanere perfettamente integra.

## Attacco solfatico

I solfati presenti nel terreno o nell'acqua a contatto con il calcestruzzo o ancora nell'atmosfera (ad esempio sotto forma di aerosol marino) possono reagire con l'idrossido di calcio formando gesso e successivamente con gli alluminati e i silicati idrati del cemento per formare ettringite e thaumasite.

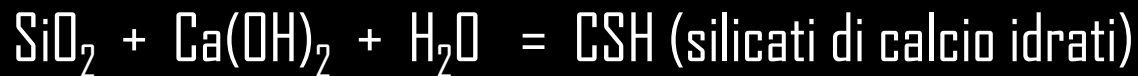


(T= 0-5°C, U.R. > 90%)

Quali cementi utilizzare in ambienti solfatici,  
in particolare quelli marini?

Per evitare la formazione di gesso, è indispensabile che gli ioni solfato ( $\text{SO}_4^{--}$ )  
reagiscano con la portlandite.

La portlandite può essere "neutralizzata" dalla presenza di aggiunte pozzolaniche al  
Portland tramite la reazione:



La portlandite NON si rende disponibile per formare il gesso  
e quindi ettringite e thaumasite

# Il Degrado dei Materiali

Il degrado del legno









D'IAMO  
LAVORO AI COMPAGNI  
IMBIANCHINI



QUESTA È UNA  
PIASTRELLA

Grazie!