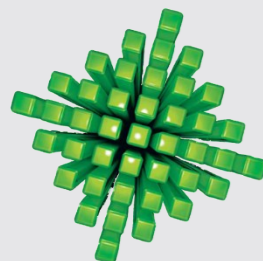


Processi di Fonderia

Sono tecniche per dare forma al materiale che si basano su:

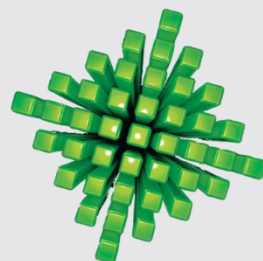
1. Fabbricazione partendo da materiale allo stato liquido
2. Introduzione del materiale liquido nello stampo, detto **forma**
3. Solidificazione del materiale liquido nella forma
4. Estrazione del pezzo solido
5. Eventuali lavorazioni successive o trattamenti termici



Materiali

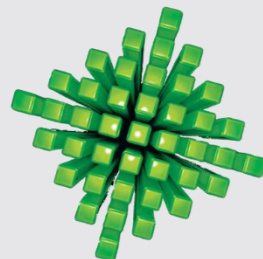
Metalli puri (oro, argento, alluminio, rame) con una unica temperatura di fusione caratteristica del materiale

Leghe (acciai, ghise, leghe Al, leghe Mg, leghe Pb, leghe Cu, leghe Zn, ...) con un intervallo di temperatura di fusione in funzione della composizione della lega

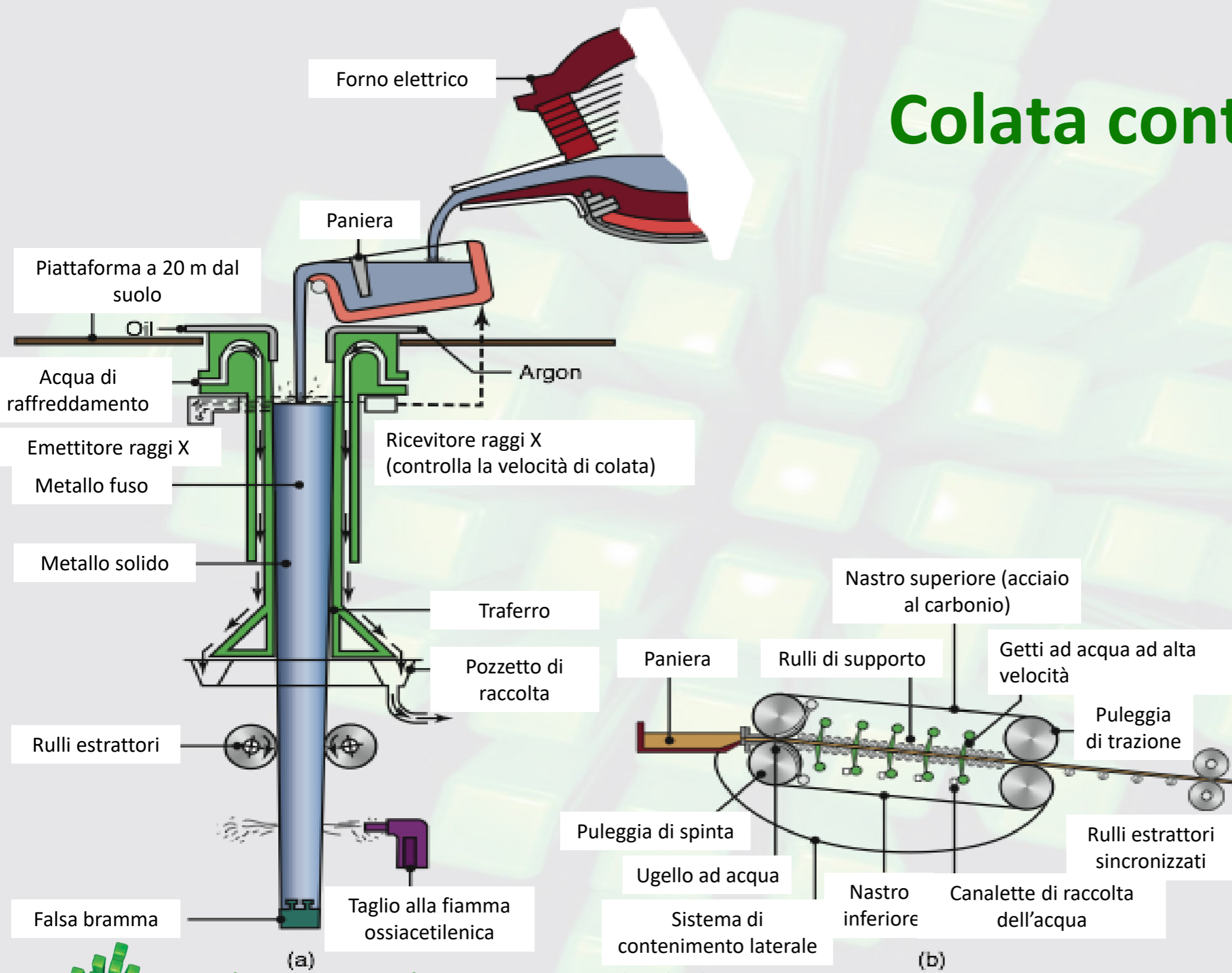


Aspetti fondamentali nella messa a punto del processo sono:

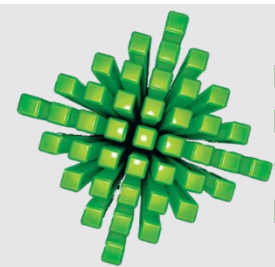
- 1) Scelta del processo di fonderia
- 2) Progettazione dello stampo (**FORMA**)
- 3) Scelta dei parametri di processo (temperature, lubrificanti, distaccanti, tecniche di raffreddamento)



Colata continua



Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.
Kalpakjian • Schmid
© 2008, Pearson Education
ISBN No. 0-13-227271-7

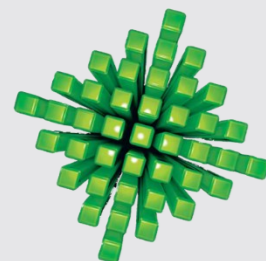


Tipi di Forme

Forme Transitorie = **Expendable Mold** (utilizzabili solo 1 volta)

Forme Permanenti = **Permanent Mold** (utilizzabili in modo ripetitivo, consentono una facile rimozione del pezzo, sono realizzati in almeno due parti richiudibili tra loro in modo da realizzare la cavità dove effettuare colata e solidificazione)

- **Forme** (Cope + *Drag*) e **Anime** (*Core* = parti mobili) in metallo, per creare cavità nell'oggetto
- **Sistema di colata** costituito da
 - **Bacino di colata** con **Filtri** (*Pouring basin with Filters*)
 - **Canale di colata** (*Sprue*)
 - **Canale distributore** con **Trappole ferma scorie** (*Gate with Traps*)
 - **Attacchi di colata** (*Runners*)
- **Materozze a cielo aperto o cieche** (*Open risers or Blind risers*)
- **Estrattori** (*Ejectors*)
- **Sfiati** (*Vents*) per l'evacuazione del gas
- **Distaccanti e Lubrificanti** es. grafite dispersa in acqua (*Detaching Agents and Lubricants*)



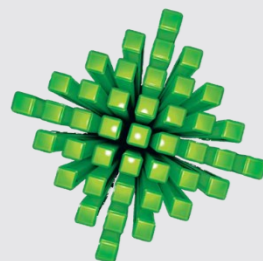
Dimensionamento

Canale di colata

- di solito $\frac{A_{top}}{A_{bottom}} = \sqrt{\frac{h_{bottom}}{h_{top}}}$
- $2000 < Re = \frac{vD\rho}{\mu} < 20000$

Tempo di solidificazione

- $t_{solid} = k \left(\frac{Volume}{Superficie} \right)^2$

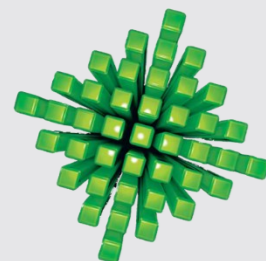


Angoli di sforno

- Modelli legno 1°- 2°
- Modelli metallici 30'
- Portata d'anima verticale (sede anima) 10°-12°
- Nervature 1°- 2°
- Raccordare gli spigoli vivi nelle zone di flusso per evitare erosioni
- Il baricentro delle anime orizzontali a sbalzo deve cadere all'interno della portata d'anima
- Maggiorare le dimensioni del modello usando il coefficiente di ritiro medio lineare per compensare il ritiro
- Raccordo tra piastre di spessore s
 - i. Raccordare le piastre con raggio pari a $R = \frac{s}{3}$
 - ii. Tracciare il cerchio inscritto D tangente a tali raccordi
 - iii. Modulo di raffreddamento della piastra di spessore pari a D
- Raccordo tra barre di spessore s
 - i. Raccordare le barre con raggio pari a $R = \frac{s}{3}$
 - ii. Tracciare il cerchio inscritto D tangente a tali raccordi
 - iii. Modulo di raffreddamento della barra con dimensioni della sezione pari a D ed s

$$M = \frac{D}{2}$$

$$M = \frac{Ds}{2(D+s)}$$



Modulo di raffreddamento

$$\text{Modulo di raffreddamento } M = \frac{\text{Volume}}{\text{Superficie}}$$

Aggiungendo un raffreddatore ho un incremento di 50 mm sulla zona protetta

Cubo, sfera, cilindro ($D=H=S$)

$$M = \frac{S}{6}$$

Piastre o dischi di spessore S

$$M = \frac{S}{2}$$

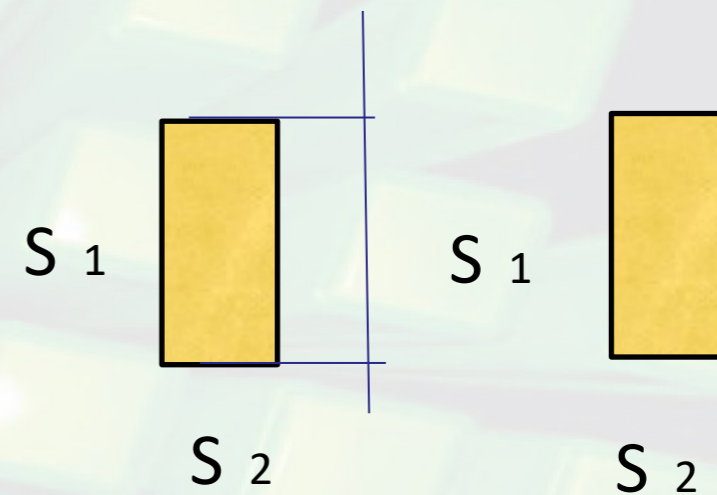
Corpi toroidali o cilindri

$$M = \frac{S_1 S_2}{2(S_1 + S_2)}$$

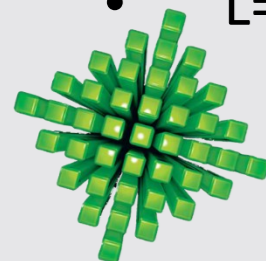
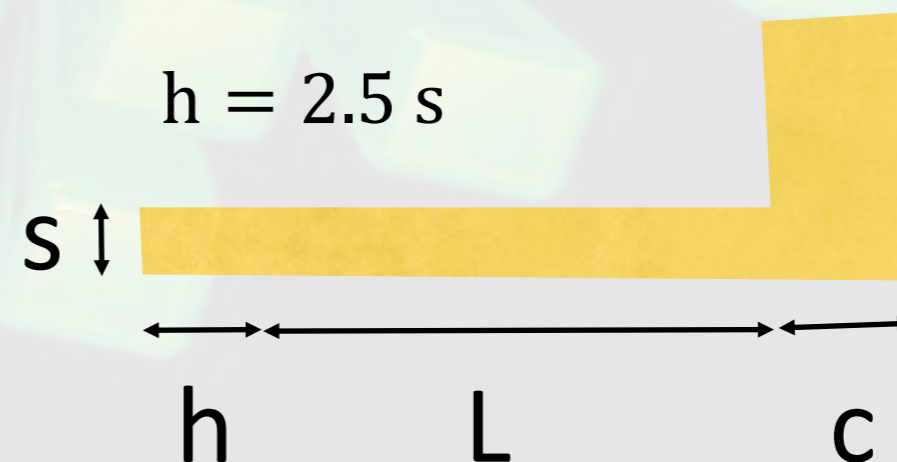
Barre di sezione costante A

il cui perimetro è P

$$M = \frac{A}{P}$$



- La solidificazione va da M minore a M maggiore
- La zona i -esima è alimentata da quella adiacente ($i+1$) se $M_{i+1} \geq 1.1M_i$
- La materozza si mette sull'ultima zona di solidificazione
- Zona di influenza della materozza L
 - $L = 3.5 s - 5 s$ acciaio
 - $L = 5 s$ ghisa
 - $L = 5 s - 8 s$ bronzo
 - $L = 5 s - 7 s$ leghe leggere



Volume ritiro

- $V_r = \frac{b}{100} (V_p + V_m)$
 - V_r = volume ritiro
 - V_p = volume pezzo
 - V_m = volume materozza
 - B = coefficiente di ritiro volumetrico del materiale

- Per materozze **cilindriche** o **ovali**

$$V_r = 0.14 V_m$$

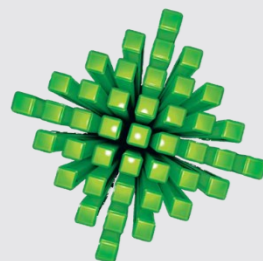
$$V_p \max = V_m \left(\frac{14-b}{b} \right)$$

- Per materozze **sferiche** o **semisferiche**

$$V_r = 0.20 V_m$$

$$V_p \max = V_m \left(\frac{20-b}{b} \right)$$

- $M_m \geq 1.2 M_p$



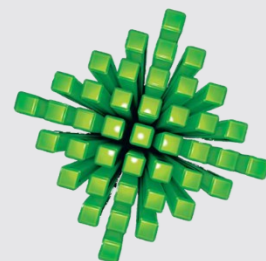
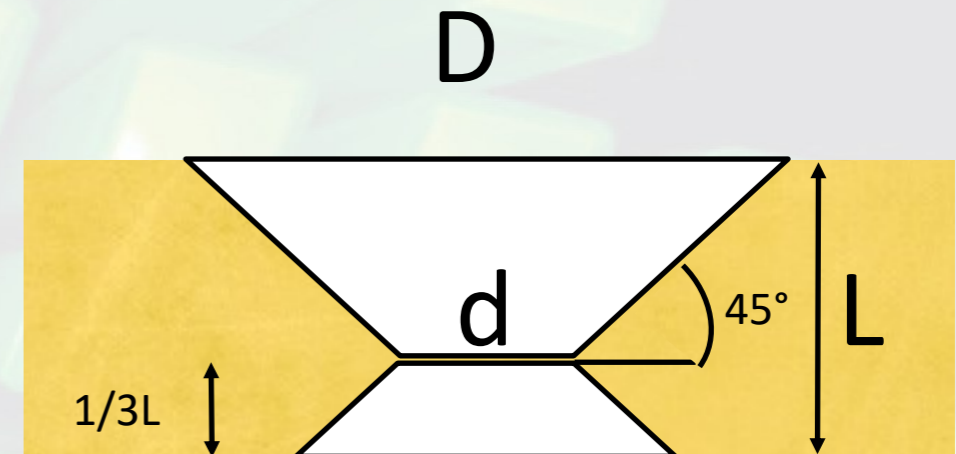
Collare attacco materozze

- Materozze cieche con collare rettangolare

$$M_m: M_c: M_p = 1.2: 1.1: 1.0$$

- Materozze a cielo aperto

materiale	d	L
Acciai	0.40D	0.14-0.18D
Ghise	0.66D	0.14-0.18D
Leghe Cu	0.66D	0.35D
Leghe leggere	0.75D	0.40D



Dimensionamento sistema di colata

- A_c = sezione canale di colata
- A_d = sezione canale distributore
- A_a = sezione attacchi di colata (complessiva) = $\frac{G}{t_c v} \gamma$

$A_c : A_d : A_a = 1 : 0.75 : 0.5$ per garantire la pressurizzazione

- Tempo di colata $t_c = 6.4 s G^{0.4}$
 - Dove t_c in secondi
 - S = spessore medio getto in cm
 - G = peso getto in Kg
 - γ = peso specifico materiale

- Velocità fluido all'uscita del canale di colata $v = \sqrt{2gh}$

dove h è il dislivello di colata

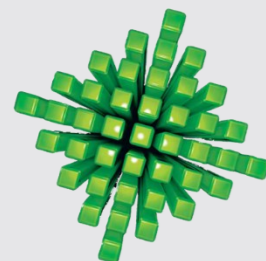


Diagramma di fase Nickel - Rame

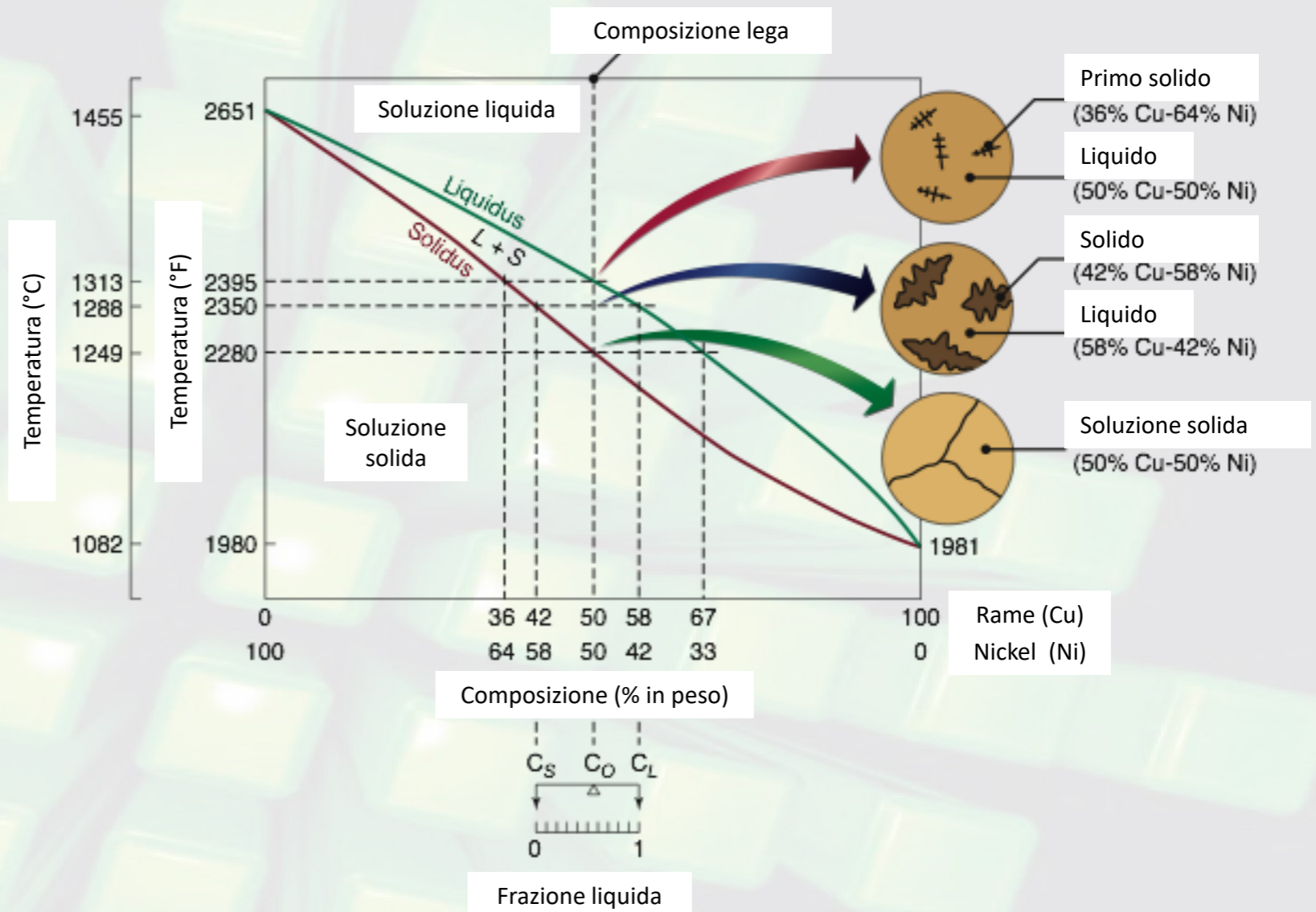


Diagramma di fase del sistema di lega Nickel – Rame ottenuto con una velocità di raffreddamento bassa. Notare che il nickel puro e il rame puro hanno una unica temperature di solidificazione o di fusione. Il cerchio in alto a destra mostra la nucleazione dei primi cristalli solidi; il secondo cerchio mostra la formazione dei dendriti; il cerchio in basso mostra la lega solidificata con i bordi grano.

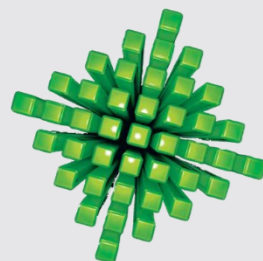
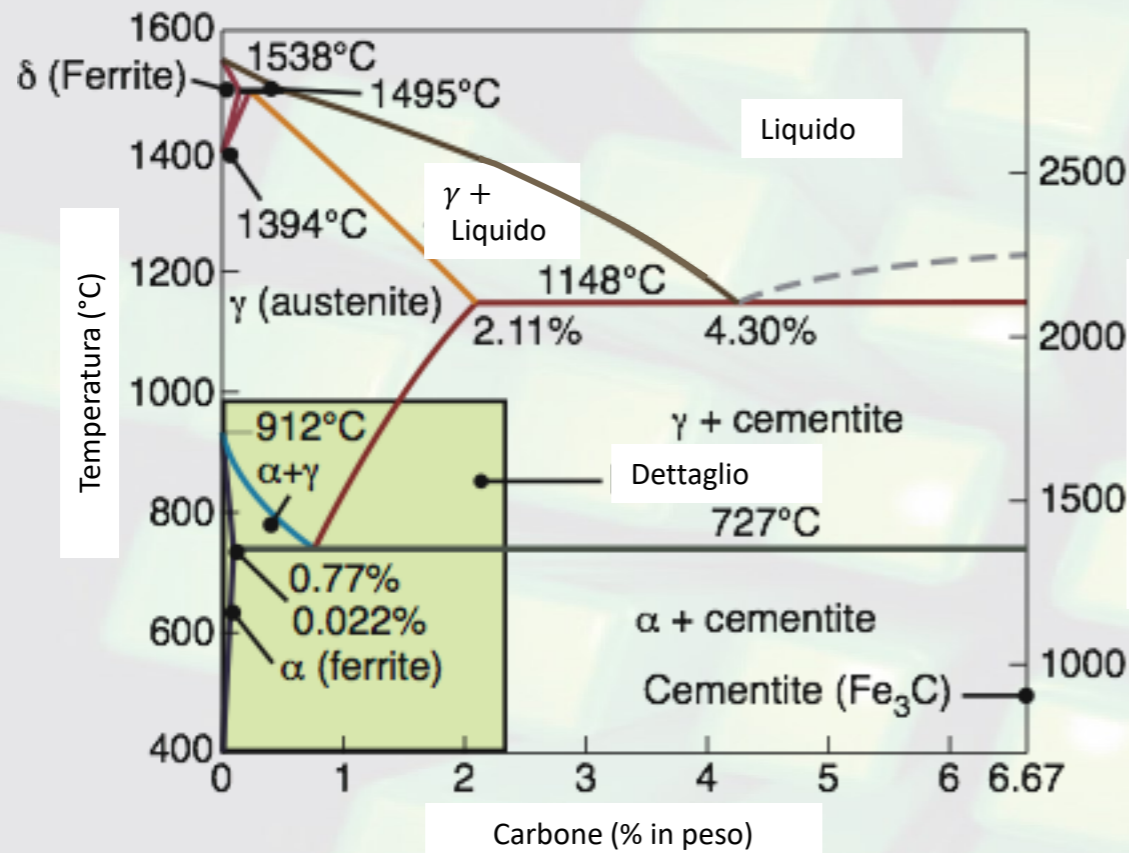
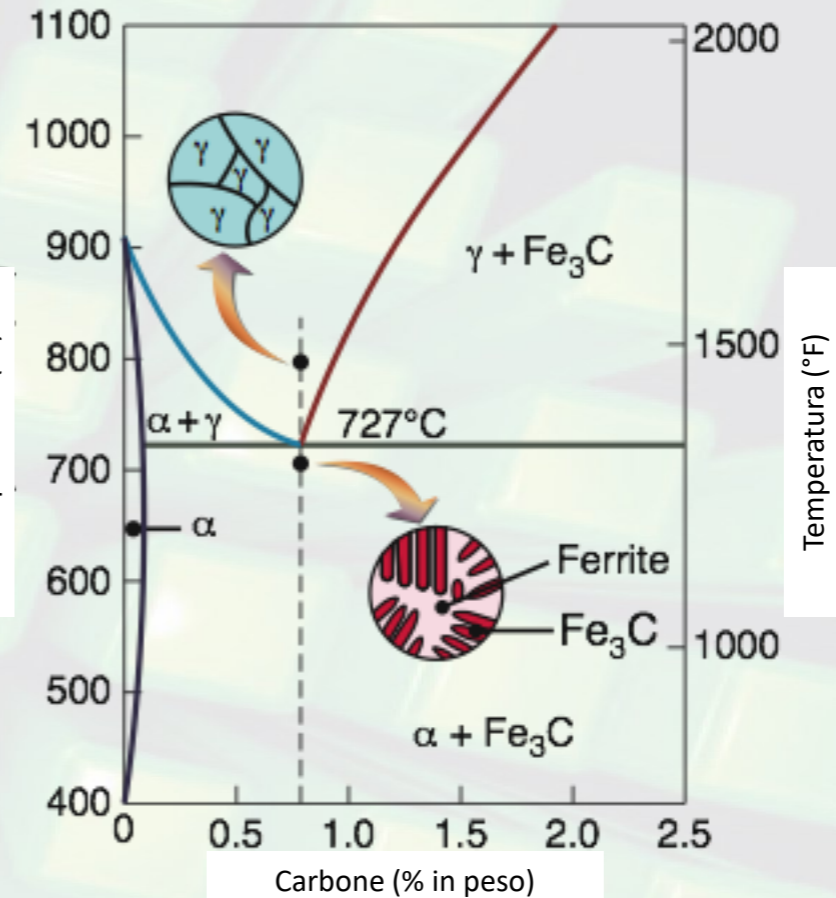


Diagramma di fase Ferro – Carburo di ferro



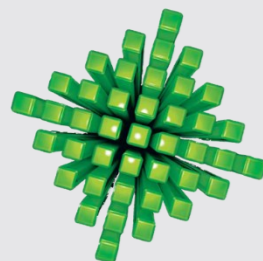
(a)



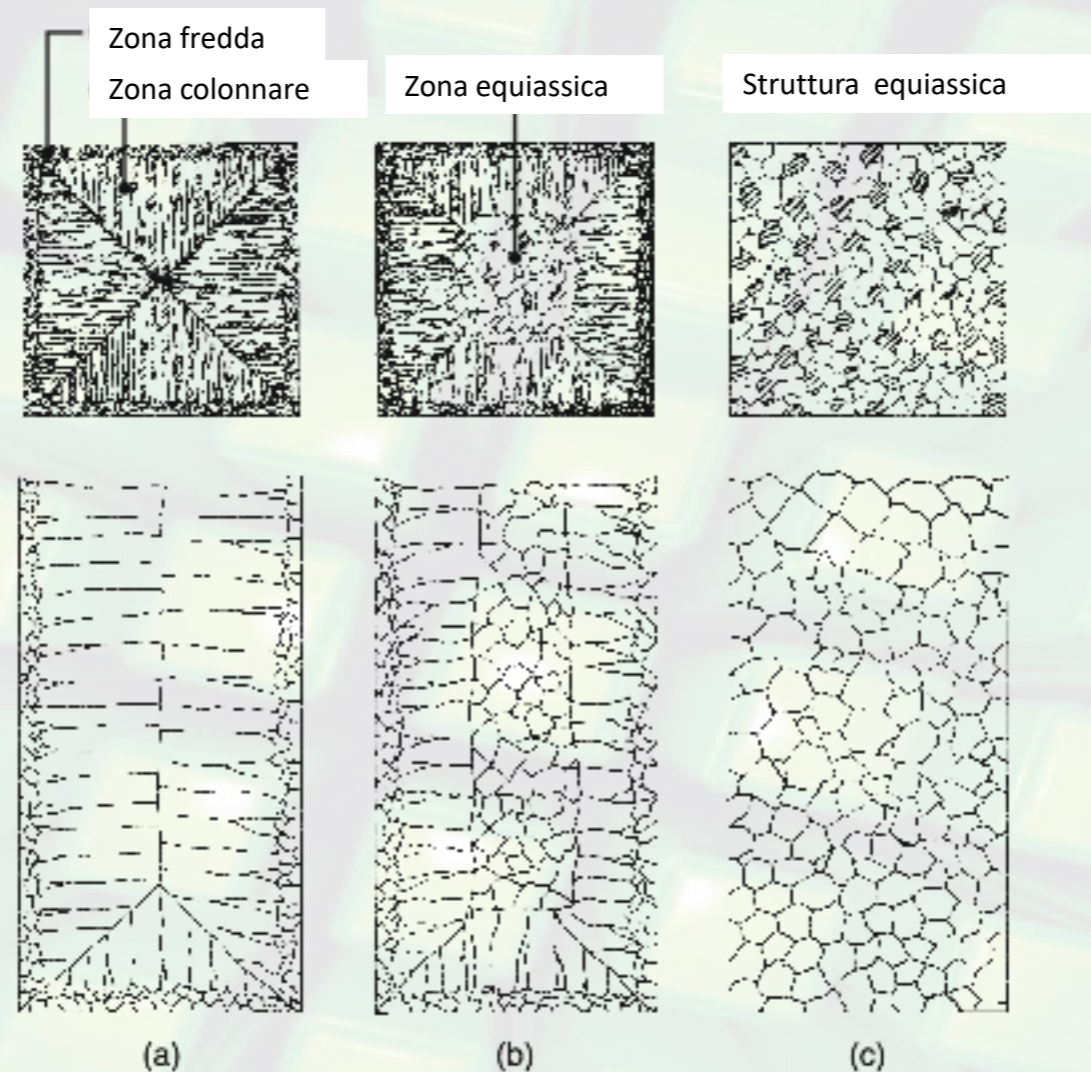
(b)

(a) Diagramma di fase Ferro – Carburo di ferro.

(b) Dettaglio delle microstrutture sopra e sotto la temperature dell'eutettoide (727 °C) .



Microstruttura in una forma a sezione quadrata



Schema di tre strutture di metalliche solidificati in una forma quadrata:

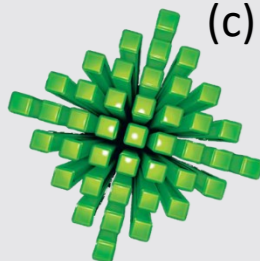
- (a) Metalli puri, con tessitura preferenziale alle pareti della forma raffreddata. Notare al centro della figura che solo i grani orientati in modo favorevole crescono, cioè quelli orientati parallelamente alla direzione di flusso del calore nella forma, ovvero perpendicolarmente alla superficie della forma, mentre gli altri grani risultano bloccati;
- (b) Leghe in soluzione solida; e
- (c) Struttura ottenuta da nucleazione eterogenea di grani.

Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

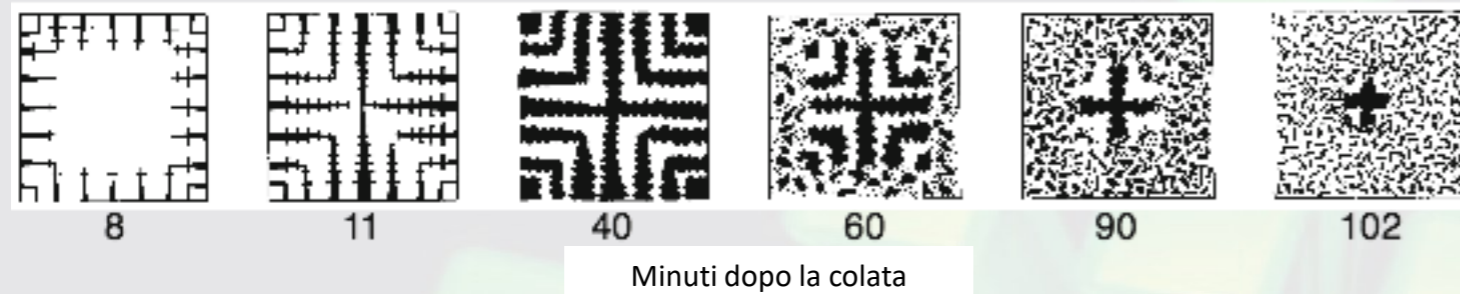
Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

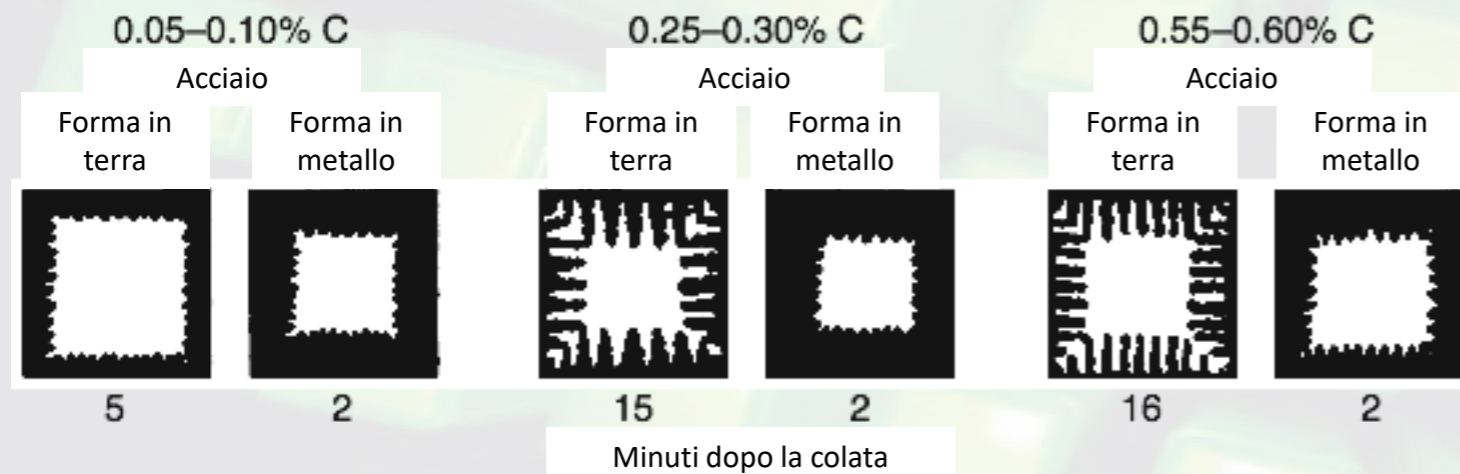
ISBN No. 0-13-227271-7



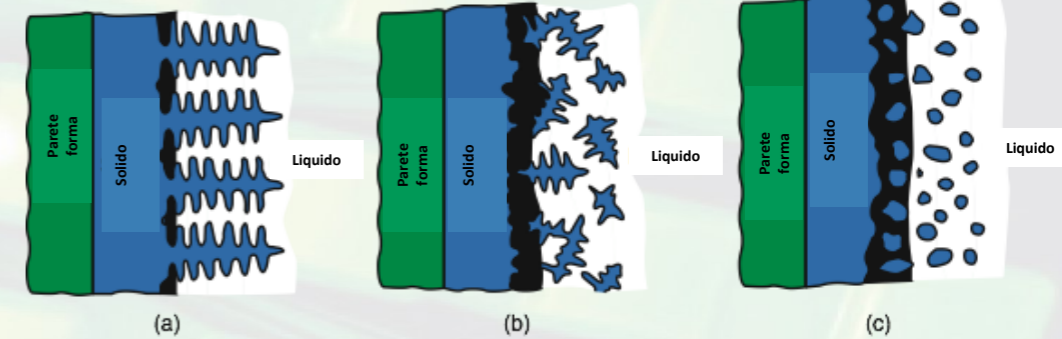
Modelli di solidificazione per la ghisa grigia e per l'acciaio



(a)

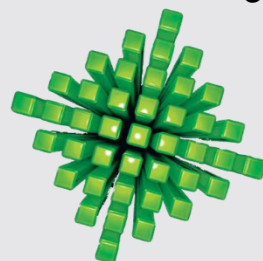


(b)



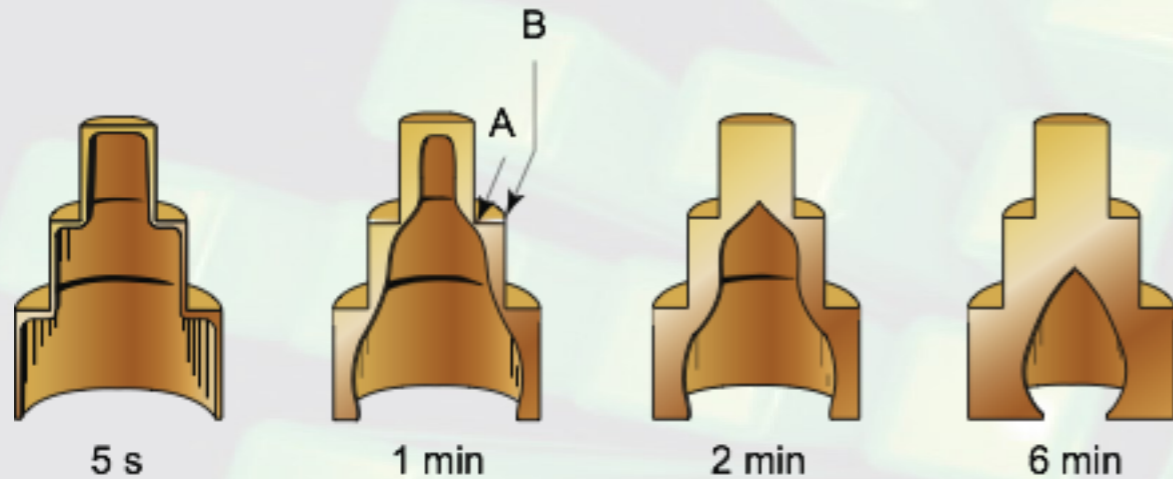
- Schema di tre tipi base di strutture di solidificazione:
- (a) Modello di solidificazione di un pezzo quadrato (180 mm x 180 mm) di ghisa grigia. Dopo 11 minuti le dendriti si uniscono, ma il pezzo è ancora semisolido.
 - (b) Solidificazione in forma in terra e in forma in metallo di acciai con diverso contenuto di carbonio. Il modello di solidificazione cambia al cambiare del contenuto di carbonio.

- Schema di tre tipi base di strutture di solidificazione:
- (a) Colonnare dendritica;
 - (b) Equiassiale dendritica; e
 - (c) Equiassiale non dendritica.



Pelle solidificata in Fonderia

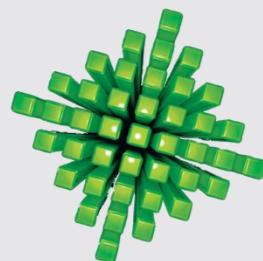
Legge di Chvorinov: $tempo\ di\ solidificazione = C \left(\frac{Volume\ Pezzo}{Superficie\ raffreddamento} \right)^n$



Dove

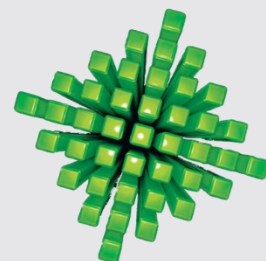
- **C** dipende dal materiale della forma, dalle proprietà del metallo fuso e dalla sua temperatura;
- **n** oscilla tra 1.5 e 2 e di solito è pari a 2.

Pelle solidificata in un getto di acciaio; il metallo ancora liquido è versato fuori dalla forma ai tempi indicati nella figura, misurati a partire dall'inizio del raffreddamento. Tale tecnica è usata per produrre oggetti ornamentali e decorativi mediante il processo di colata a rigetto (*slush casting*).



Contrazione - Dilatazione

Contrazione (%)		Dilatazione (%)	
Alluminio	7.1	Bismuto	3.3
Zinco	6.5	Silicio	2.9
Lega di alluminio con 4.5% Cu	6.3	Ghisa grigia	2.5
Oro	5.5		
Ghisa bianca	4-5.5		
Rame	4.9		
Ottone (70-30)	4.5		
Magnesio	4.2		
Lega 90% Cu 10% Al	4		
Acciai al carbonio	2.5-4		
Lega di alluminio con 12% Si	3.8		
Piombo	3.2		

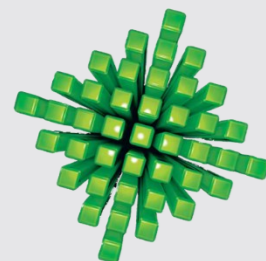


Video colata in sabbia

https://youtu.be/H-GrSDVG_iU

Video colata in fossa

<https://youtu.be/QFOQ8PIJxog>



Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7