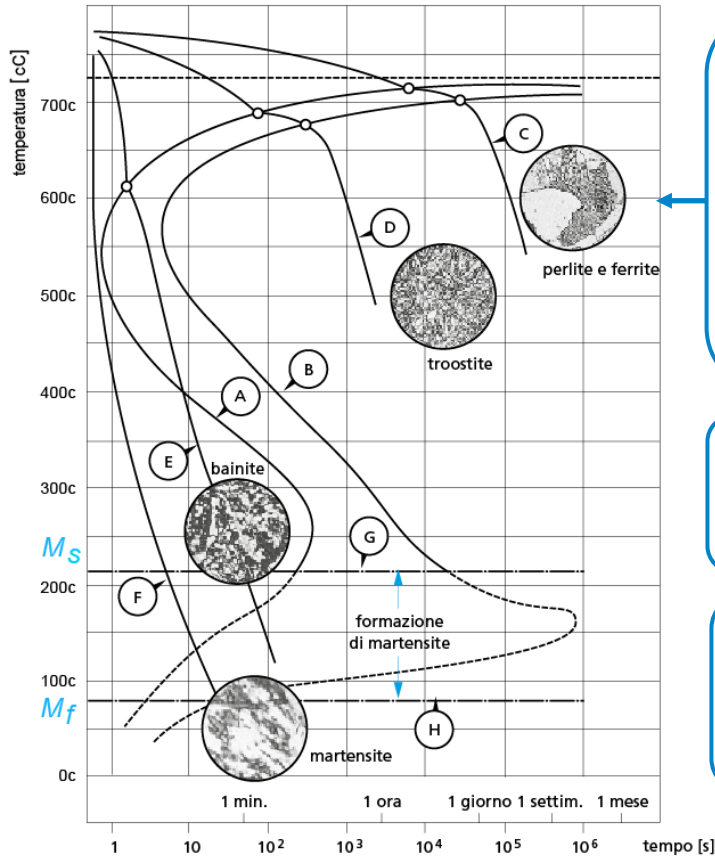


Curve di Bain

Curve a **S**, o **TTT** (temperatura, tempo, trasformazione), indicano i tempi e le temperature caratteristiche di inizio e fine trasformazione dell'austenite a temperatura costante.



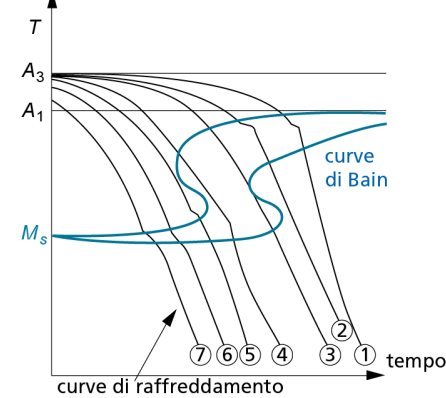
- A. inizio trasformazione austenite;
- B. trasformazione austenite;
- C. raffreddamento → perlite;
- D. raffreddamento → troostite;
- E. raffreddamento x parziale formazione martensite;
- F. raffreddamento con velocità > critica: formazione martensite;
- G. inizio trasformazione martensite;
- H. fine trasformazione martensite

Influenza dei leganti sulle curve di Bain
L'aggiunta di Ni, Cr e Mo in lega sposta verso destra le curve di Bain dell'acciaio.

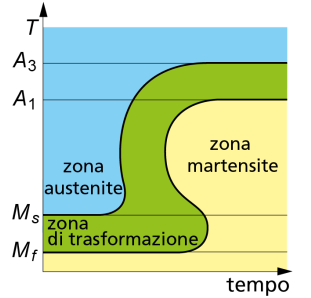
Raffreddamento continuo
Le curve TTT e CCT (*continuous cooling transformation*) per raffreddamento continuo sono di natura sperimentale e vengono fornite dal costruttore.

Curve di raffreddamento

le curve di raffreddamento sovrapposte alle curve di Bain di ciascun acciaio permettono di determinare la struttura ottenibile con un mezzo temprante



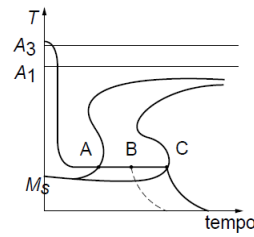
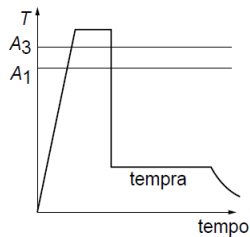
curve di raffreddamento di un acciaio ottenute con mezzi diversi:
1: forno, 2: cenere, 3: aria calma, 4: aria soffiata, 5: olio, 6: acqua, 7: acqua salata e agitata



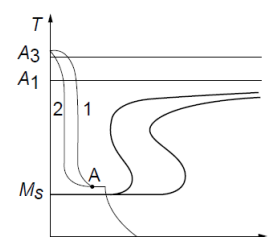
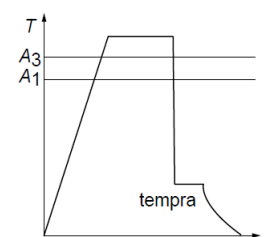
- M_s : temperatura di inizio trasformazione martensite;
- M_f : temperatura di fine trasformazione martensite

Trattamenti isermici

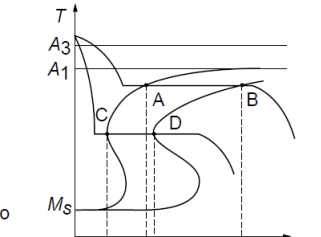
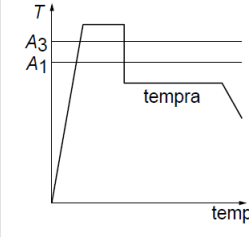
cambiamento della struttura dell'acciaio ottenuto mantenendo costante la temperatura del pezzo



Bonifica o tempra isoterica e curve di Bain



Tempra scalare e curve di Bain



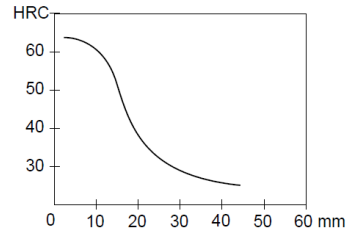
Ricottura isoterica e curve di Bain

Temprabilità degli acciai

capacità di prendere la tempra in profondità

Prova Jominy

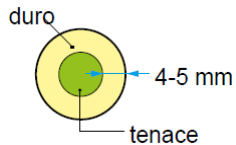
misura della durezza in funzione della distanza dall'estremità di una barretta portata a temperatura di tempra e raffreddata a 24 °C



Trattamenti termici di indurimento superficiale

Consentono di ottenere proprietà diverse altrimenti non possedute insieme dallo stesso materiale.

Durezza e tenacità sono infatti proprietà in antitesi.



Metodi:

- tempra superficiale;
- fiammatura;
- riscaldamento per induzione

Trattamenti termochimici di indurimento superficiale

trattamenti utilizzati per far assorbire un elemento chimico che dà elevata durezza alla superficie di un pezzo

• Nitrazione

è applicabile solo ad alcuni acciai speciali; si esegue su pezzi in forno a 500 °C con elemento indurente azoto (N).

Vantaggi e svantaggi:

- durezza molto elevata;
- tempi molto lunghi (20 ÷ 50 h);
- spessore 0,05 ÷ 0,55 mm;
- temperature che non modificano la struttura dell'acciaio;
- non richiede altri trattamenti termici successivi;
- alto costo degli impianti;
- strato niturato molto fragile

• Carbocementazione

diffusione di carbonio nell'acciaio per ottenere pezzi tenaci all'interno e duri in superficie;

cementi: additivi solidi, liquidi o gassosi utilizzati per la cementazione.

La carbocementazione è applicabile ad acciai con C < 0,2%.

Cementazione solida: con polveri di carbone vegetale + carbonato di bario in forni a 900-950 °C; profondità: 0,3 ÷ 2 mm con velocità 0,1-0,2 mm/h;

Cementazione liquida (cianurazione): bagno in liquido a 900 °C con sali di cianuro di sodio, potassio e azoto;

Cementazione gassosa: in forni con ambiente di gas di carbonio

trattamenti termici successivi alla cementazione

necessari dopo la cementazione per conferire durezza alla superficie cementata e resistenza e tenacità al cuore del pezzo. Sono:

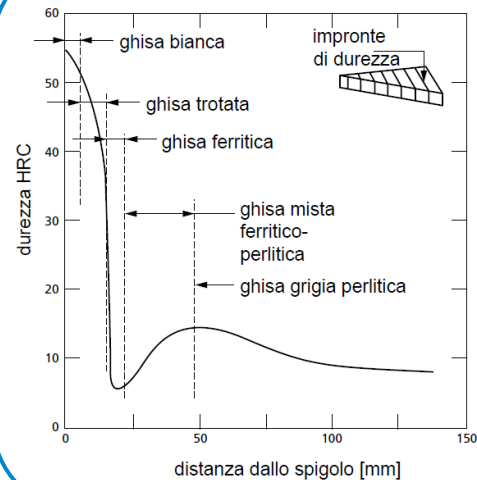
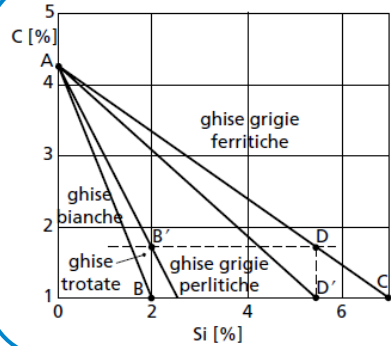
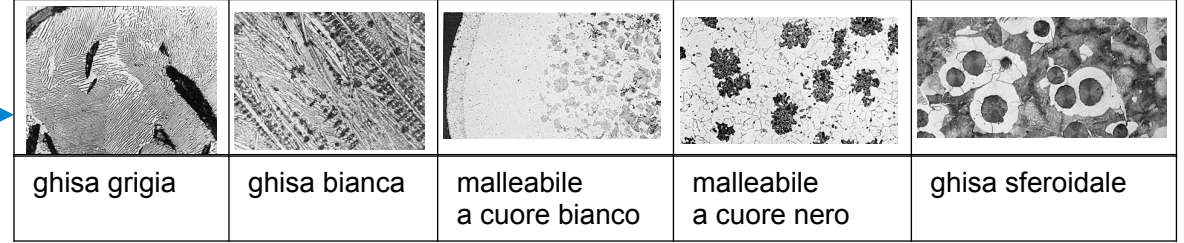
- tempra diretta;
- doppia tempra e rinvenimento

Ghise

leghe ferro-carbonio con carbonio da 2,08% a 6,70% e silicio da 1% a 3%.

- Le proprietà meccaniche dipendono:
- dalla composizione chimica (% C e % Si);
 - dalla presenza di altri elementi in lega;
 - dalla velocità di raffreddamento;
 - da eventuali trattamenti termici subiti

Tipi di ghise



Trattamenti termici delle ghise

Ricottura

annulla le tensioni interne; riscaldamento a $T = 450 \div 520 \text{ }^\circ\text{C}$ e raffreddamento lento; *raddolcimento*: riscaldamento a $T = 650 \text{ }^\circ\text{C}$ per migliore lavorabilità

Tempra e rinvenimento

aumenta carico di rottura e durezza per ghise perlitiche a grana fine e $\text{Fe}_3\text{C} \geq 0,7\%$;

- riscaldamento: prima a $500 \text{ }^\circ\text{C}$ poi a $800 \text{ }^\circ\text{C}$ per avere austenite;
- raffreddamento veloce;
- rinvenimento a $T = 790 \div 500 \text{ }^\circ\text{C}$, al fine di ridurre la fragilità

Malleabilizzazione

- **cuore bianco (EU)**: ricottura lenta a $900 \div 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ in atmosfera ossidante. Ghisa temprabile e saldabile;
- **cuore nero (USA)**: ricottura prima a $925 \text{ }^\circ\text{C}$ poi a $720 \text{ }^\circ\text{C}$. Ghisa temprabile e non saldabile

Trattamenti termici delle leghe non ferrose

leghe leggere (non ferrose): combinazioni tra alluminio e rame, zinco, manganese, silicio

Bonifica (tempra → rinvenimento)

Le leghe leggere sono temprabili con un veloce raffreddamento, in quanto si ottiene una soluzione soprassatura instabile (*tempra di soluzione*).

La bonifica permette di ottenere materiale con massima resistenza, durezza e tenacità e si compone di tre fasi:

- solubilizzazione: riscaldamento a $T = 490 \div 540 \text{ }^\circ\text{C}$;
- tempra: rapido raffreddamento con velocità dipendente dal tipo di lega;
- invecchiamento (*ageing*): materiale a riposo per un periodo di tempo a temperatura ambiente o a $T = 100 \div 150 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ricottura

restituisce alla lega l'originaria plasticità. Si esegue mediante un riscaldamento a temperatura $T = 350 \div 400 \text{ }^\circ\text{C}$ e lento raffreddamento in aria o forno