

ACCIAI

Introduzione alla designazione

Esistono diversi criteri secondo cui classificare gli acciai; in base al tipo di prodotto, oppure del tipo di processo, della composizione chimica e delle applicazioni. È difficile stabilire una correlazione tra i diversi tipi di classificazione, per questo motivo esistono diverse normative che considerano acciai diversi e designano quindi differientemente gli acciai. Le principali normative sono:

- Norma nazionale: UNI (Italia), DIN (Germania), BS (Regno unito), ANOR (Francia)
- Norma europea: EN (Euro Norm)
- Norme nazionali dei paesi non comunitari: JIS (Giappone)
- Norme internazionali: ISO
- Specifiche tecniche emanate da associazioni varie e prese come riferimento dal mercato: SEA (Stati Uniti)

Secondo la normativa europea (EN) gli acciai vengono classificati in due sistemi equivalenti di designazione:

1. Designazione alfanumerica: descritto dalla UNI-EN 10027-1
2. Designazione numerica: UNI-EN 10027-2.

Designazione alfanumerica

La designazione alfanumerica classifica gli acciai secondo 2 gruppi:

- Gruppo 1: designazione in base all'impiego ed alle caratteristiche meccaniche o fisiche. In questo tipo di classificazione si è solite indicare:
 1. Lettera legata all'impegno: S, P, L, E, B, Y, etc
 2. Numero per indicare una caratteristica legata al particolare impiego (indica il carico di snervamento espresso in MPa)
 3. Indicazioni opzionali sul grado qualitativo ed altro fornite dalla norma mediante ulteriori lettere, normalmente sono
 - 2 lettere per la qualità
 - 1 lettera per lo stato di fornitura
 - 1 lettera per le condizioni di impiego

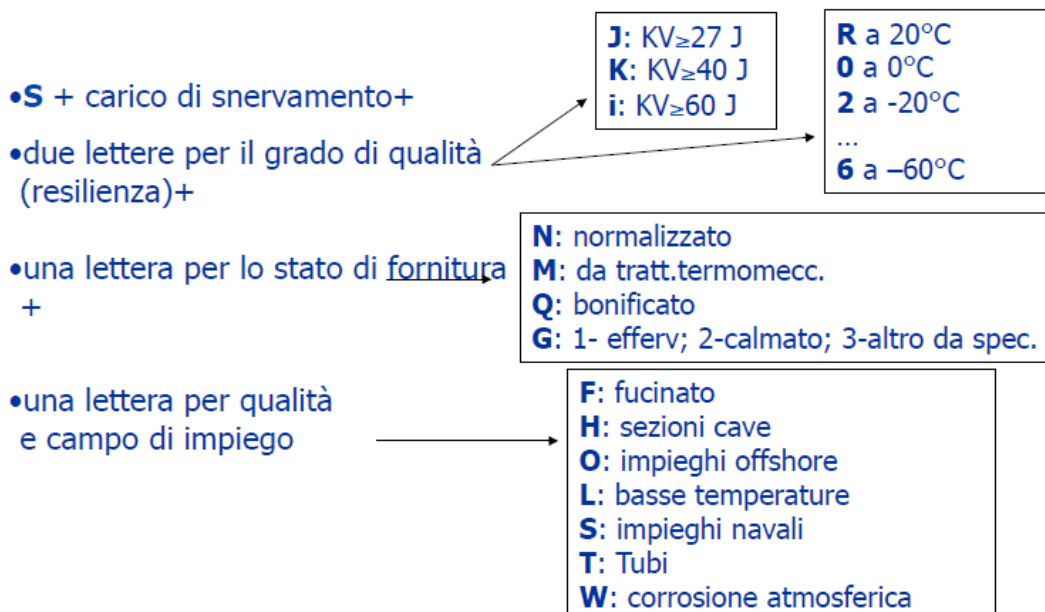
Esempio: S 235 JR G2

S = impieghi strutturali

235 = carico di snervamento R_p pari a 235 N/mm²

JR = resilienza > 27J a 20°

G2 = acciaio calmato



- Gruppo 2: designazione in base alla composizione chimica, suddivisi in 4 sottogruppi:
 1. Non legati (Mn < 1%): C + tenore di carbonio*100
Esempio: C45
 2. Debolmente legati (tenore massimo dei singoli elementi < 5%), quando Mn o Si > 1% questi diventano elementi di lega: tenore di carbonio *100 + simboli dei primi elementi di lega che caratterizzano l'acciaio + numeri indicanti i tenori medi moltiplicati per i coefficienti di comodo
Esempio: 36 CrNiMo4
 3. Legati (con tenore di almeno 1 elemento > 5%): X + tenore di carbonio*100 + simboli degli elementi che caratterizzano l'acciaio + tenore degli elementi non moltiplicati
Esempio: X5CrNi18-10
 4. Rapidi: HS + tenore di W + tenore di Mo + Tenore di V + tenore di Co
Esempio: HS 6-5-2-5

Per entrambi i gruppi quando si tratta di un acciaio per getti si antepone alla sigla la lettera G.

Elemento	fattore
Cr-Ni-Mn-Si-W-Co	4
Mo-Al-V-Be-Cu-Nb-Pb-Ta-Ti-Zr	10
N-S-P-Ce	100
B	1000

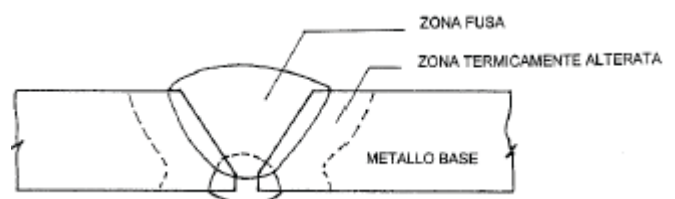
Introduzione alla classificazione degli acciai

Generalmente gli acciai possono essere suddivisi in due grandi categorie:

1. Acciai da costruzione di uso generale = non devono di fare trattamenti, al massimo si giuntano
2. Acciai speciali da costruzione = vengono trattati termicamente e quindi modificano la microstruttura

Acciai da costruzioni ad uso generale

Questi acciai non sono modificabili dai trattamenti termici intesi a formare martensite, cioè la struttura composta da ferrite e perlite. Di questa categoria fanno parte tutti gli acciai usati per la carpenteria meccanica oppure per lamiere di impiego navale o ancora acciai per impieghi edilizi, è dunque importante ricordarsi che tutti gli acciai che vengono designati con la lettera S, cioè gli acciai strutturali, rientrano in questa categoria. Tali acciai vengono formati e rafforzati per deformazione plastica e forniti allo stato grezzo dalla laminazione o dopo normalizzazione. Questi acciai hanno bassa resistenza meccanica, ma elevata tenacità e saldabilità, cioè la facilità con cui si riesce a realizzare delle giunzioni tra diversi pezzi, che li rendono idonei per la fabbricazione di componenti della carrozzeria di automobili e forme strutturali come travi e profilati. Le giunzioni possono essere realizzate con delle viti o, se si ha l'interesse di non lasciare vuoti interstiziali tra i componenti e quindi si vuole realizzare una continuità metallica, è necessario portare saldare i due pezzi, cioè portare a fusione parte dei componenti e farli risolidificare insieme. La risolidificazione avviene nel momento in cui il componente si raffredda: il raffreddamento sarà



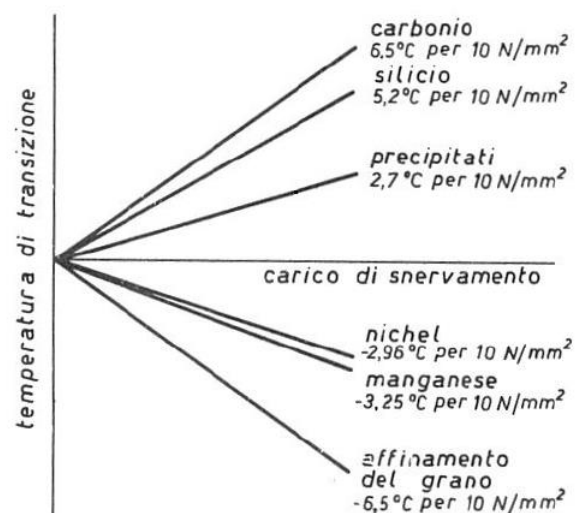
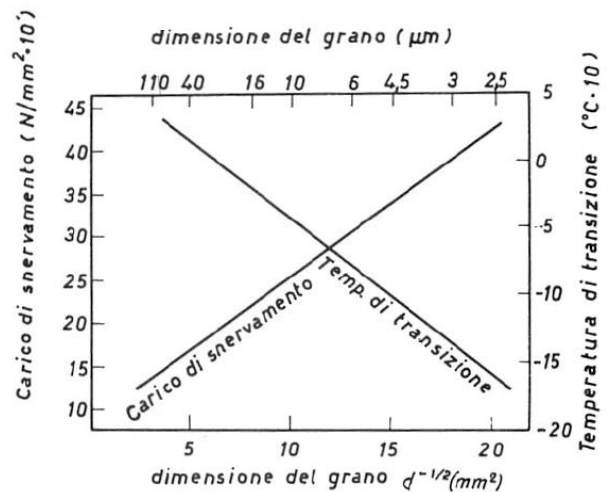
inferiore o superiore alla velocità critica di raffreddamento a seconda della composizione chimica del materiale. Se risulta essere inferiore allora si avrà una struttura ferritico-perlitica altrimenti, se è più rapido della velocità critica superiore, si otterrà della martensite e quindi si avrà una regione molto dura e molto fragile: il giunto saldato si romperà quindi facilmente. Tutte le volte che devo realizzare una giunzione saldata è necessario che la temprabilità del materiale sia bassa in modo tale quindi da non cadere nel campo della martensite. In generale lo schema della saldatura è la seguente: dati due materiali con due lembi, si porta a fusione la zona centrale e porto a fusione parzialmente la zona del lembo a destra e quella del lembo a sinistra, si formano dunque due zone termicamente alterata che hanno superato A_3 . Se l'acciaio ha una scarsa temprabilità in questa zona non si forma martensite, se ha un'elevata temprabilità invece si forma la martensite. Se ho un carbonio basso (sotto 0,4%) si ha una temprabilità bassa. Generalmente, quindi, gli acciai di questo gruppo sono a basso carbonio (perché hanno una bassa tenacità), non hanno nichel né cromo né molibdeno, ma presentano tracce di azoto, ossigeno e idrogeno che dipendono dal processo di fusione.

Da un punto di vista delle proprietà meccaniche si ha un carico di snervamento compreso tra i 200 e 500 MPa; ovviamente è possibile influenzare questo valore e quindi ottenere un carico di snervamento superiore, senza che peggiorano duttilità e tenacità attraverso modifiche indotte da composizione chimica, dimensione del grano e presenza di precipitati. Se al variare della dimensione del grano voglio incrementare il carico di snervamento devo incrementare gli elementi di lega: il problema è che ci generalmente non viene fornita la composizione chimica quindi si preferisce usare la ricottura di ricristallizzazione, in questo modo deformando plasticamente posso affinare il grano. L'affinamento del grano è l'unico che non peggiora la resilienza. Un problema che si potrebbe riscontrare nell'incrementare il carico di snervamento è una perdita della deformabilità plastica, dell'allungamento percentuale (questi due fattori però per l'impiego di questi acciai mi interessano relativamente) e delle caratteristiche di resilienza. Come noi sappiamo i due risultati che si ottengono dalla prova di resilienza sono: l'energia assorbita dell'urto e la temperatura di transizione. Modificando quindi questo valore di temperatura si potrà intervenire sul carico di snervamento senza perdere le caratteristiche di resilienza del materiale. Aggiungendo elementi di lega come il nichel o affinando il grano si ha un incremento sia delle caratteristiche di resistenza che della resilienza perché diminuiscono la temperatura di transizione. Aggiungendo invece carbonio, silicio e precipitati aumenta il carico di snervamento e la temperatura di transizione.

Acciai speciali da costruzione

Sono acciai che subiscono il trattamento termico grazie al quale si può intervenire sulla microstruttura. Il trattamento termico utilizzato è la bionica cioè l'insieme di tempra e rinvenimento. Tutti questi acciai prevedono un ciclo tecnologico costituito da diverse fasi:

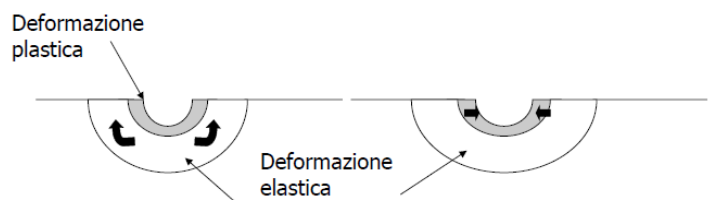
1. Rigenerazione = costituita dalla normalizzazione e dalla ricottura di lavorabilità. Il ciclo di lavorazione inizia con questi due trattamenti perché così si eliminano le dislocazioni e si omogeneizza sia la microstruttura che il grano (all'inizio avrà una struttura di ferrite e perlite altamente disomogenea oppure si hanno grani di ferrite e perlite omogenei ma orientati).



2. Lavorazione macchine utensili sgrossatura = si inizia a modellare il componente, non si dà subito al componente la forma definitiva, ma si fa ciò in due passaggi perché la bonifica, terza fase del ciclo tecnologico, deforma nuovamente il pezzo (in modo particolare il passaggio da austenite a martensite). Nel contempo non si modella il pezzo completamente alla fine per convenienze economiche infatti il componente sarebbe così duro da richiedere una grande quantità di energia per la modellazione finale.
3. Bonifica = costituita da tempra e rinvenimento. Viene effettuato il rinvenimento per modificare la martensite affinché questa possa poi essere messa in esercizio, dipende dall'acciaio o meglio dalla temperatura. Al variare della temperatura il costituente struttura martensite si modifica e quindi cambia le sue proprietà meccaniche. È dunque necessario specificare la temperatura a cui deve avvenire il rinvenimento. Tale processo dunque modifica la resistenza meccanica R_m , che può essere calcolata tramite una formula che implica un fattore moltiplicativo che lega il carbonio alla temperatura di rinvenimento. Classificheremo gli acciai speciali da costruzione, o da bonifica, proprio a partire dagli elementi di lega e dalla temperatura di rinvenimento.
4. Finitura = completamento e rifinitura del pezzo

In generale dunque gli acciai trattati da bonifica si suddividono in diverse sottocategorie:

- **Acciai da bonifica** = sono normati e possono essere al solo carbonio come C30 o, se si desidera incrementare le caratteristiche meccaniche, si può aggiungere del cromo, vanadio, molibdeno, nichel. La temperatura di rinvenimento è 600° per 60 minuti circa. In questo modo si aumenta R_m e $R_{p0.2}$ non al massimo, questo materiale è migliore in tenacità e allungamento percentuale. A seconda degli elementi di lega R_m e la temprabilità cambiano.
- **Acciai per molle** = caratterizzati da un elevato tenore di carbonio, il silicio raggiunge il 2% quindi è elevato. Una molla subisce una sollecitazione ciclica e quindi se si rompe si rompe a causa della fatica, mai per sovraccarico, di conseguenza non si è interessati a massimizzare il carico di rottura quanto piuttosto ad aumentare il carico di snervamento. Si aumenta R_s incrementando il tenore di carbonio, il tenore di silicio e facendo una tempra a 450° , si sceglie questo valore perché è la temperatura in cui la martensite è già bifasica ma la trasformazione non è ancora completa: R_m e $R_{p0.2}$ si avvicinano in questo punto e quindi si ha la massima estensione del campo elastico mantenendo una certa tenacità. È importante sottolineare che aumenta R_s , non il modulo elastico che dipende solo dai legami atomici (acciaio da bonifica e acciaio per molle hanno lo stesso modulo elastico). Si possono avere acciai al solo carbonio con tenore alto oppure se si vuole incrementare ulteriormente le caratteristiche si può aggiungere degli elementi di lega come il silicio. Le molle, siccome lavorano per fatica, hanno la parte superficiale maggiormente sottoposta a sforzi: sarebbe dunque interessante aumentare la durezza solo della superficie (non di tutto il pezzo altrimenti diventa fragile). Per fare ciò è possibile fare un trattamento superficiale noto come pallinatura che consiste nel bombardare la superficie della molla con sfere di acciaio molto duro che inducono la deformazione plastica e quindi un aumento delle dislocazioni con il conseguente aumento di durezza solo nella parte superficiale. C'è comunque una zona che è stata deformata solo elasticamente e quindi riprenderà la sua forma dopo l'impatto; si creerà un'esercitazione alla compressione sulle gobbe create dalle sferette. Questa esercitazione aiuta molto nella resistenza a fatica.
- **Acciai autotemperanti** = caratterizzati da un'alta percentuale di cromo e nichel. Questa categoria di acciai si chiama così poiché si temprano da soli cioè si temprano con mantenimento in aria: tramite questa tempra si riesce a ottenere una struttura martensitica. Il raffreddamento in aria permette alle curve CCT, che sono molto spostate a destra e in basso, di intersecare come prima linea quella della martensite start: le curve sono spostate a causa della presenza di elementi di lega che quindi aumentano la temprabilità dell'acciaio. In modo particolare tra gli elementi di lega spiccano il nichel e il cromo e una certa percentuale di molibdeno. La norma prevede che la somma tra il tenore



di carbonio, quello di cromo e quello di nichel sia compresa tra il 5% e il 7%. È necessario un limite così stretto perché la ricottura deve poter garantire di avere ferrite e perlite ed evitare quindi di avere strutture martensitiche anche dopo trattamento di semplice ricottura che comporterebbero un peggioramento della lavorabilità. Il ciclo tecnologico non partirà dunque con una normalizzazione ma con una ricottura completa. Il rinvenimento viene eseguito a una temperatura pari a 180-200° per avere una resistenza elevata.

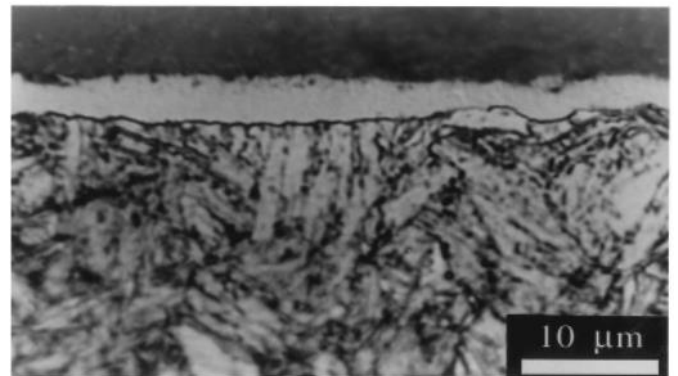
Questi acciai sono quelli più performanti da un punto di vista delle caratteristiche meccaniche, specialmente per quanto riguarda la tenacità, perché hanno un R_m pari a 2000 MPa. Questi acciai risultano però essere i più costosi, sono utilizzati in utensileria e per realizzare componenti che hanno dimensioni elevate.

Se si vuole modificare solo le caratteristiche meccaniche della parte superficiale è necessario usare dei trattamenti termico-chimici di diffusione come la cementazione e la nitrurazione: sarà dunque necessario fornire temperatura affinché una specie chimica che possa diffondere verso l'interno sfruttando tempo e temperatura così da rendere la superficie del pezzo più resistente.

- **Acciai da nitrurazione** = Trattamento termochimico di diffusione che prevede un arricchimento di azoto nella parte superficiale di un componente in acciaio. È sempre necessario avere del molibdeno in questi tipi di acciai perché evita un meccanismo di precipitazione che si chiama fragilità di rinvenimento che avviene per permanenze lunghe in trono ai 600°. All'interno di questo materiale non c'è nichel. Per capirne il motivo è necessario inizialmente studiare il diagramma di stato ferro-azoto per conoscere il comportamento della lega: se si supera l'eutettoide si ottiene un costituente strutturale che ha caratteristiche meccaniche instabili perché tende a sbriciolarsi facilmente, dunque bisogna evitare che ciò accada. Questo procedimento, che richiede comunque tempi lunghi e a una temperatura inferiore di 590°, può essere evitato non introducendo il nichel come elemento di lega perché come sappiamo il nichel è un elemento austenitizzante e quindi abbasserebbe l'eutettoide, ampliando il campo γ e favorendo quindi la formazione di questo costituente strutturale.

Una volta capito perché non è presente nichel è necessario soffermarsi su come faccia l'azoto a diffondere. L'azoto in natura si trova sotto forma molecolare, è dunque necessario

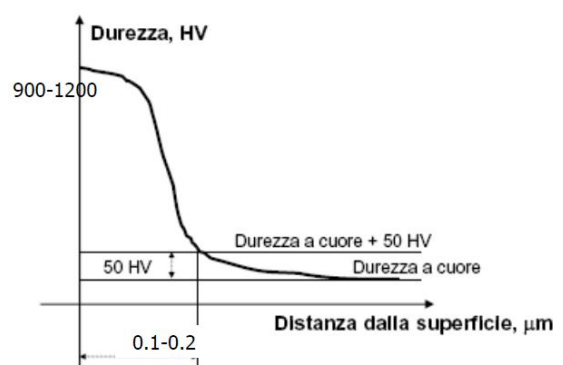
ridurlo a specie atomica poiché altrimenti risulta essere troppo grande per entrare in lega. Esistono diversi tipi di nitrurazione come quella ionica, gassosa, che sfrutta l'ammoniaca dissociata, e la nitrurazione liquida. L'azoto atomico sulla superficie ha tempo e temperatura per diffondere e quindi si formeranno dei nitruri come γ' e ϵ . La superficie nitrurata si compone di due strati: coltre bianca formata da nitruri complessi, e lo strato di diffusione, indurito per precipitazione di nitruri. I nitruri sono duri e mettono in compressione lo strato e quindi sulla superficie si ha un aumento di durezza: i nitruri precipitando



aumentano di volume mettendo quindi in compressione la superficie del pezzo. Si ha così anche un effetto benefico per quello che riguarda la fatica. La nitrurazione ha uno spessore 0,1 millimetro. Siccome si tratta di uno strato di diffusione, cambiando tempo e temperatura, si può modificare lo spessore della coltre bianca. Più si è in superficie più il componente risulterà essere duro: si ha quindi un andamento discendente della durezza aumentando la distanza dalla superficie.

Lo strato indurito e la profondità in cui raggiungono una durezza 50 HV maggiore di quella del cuore.

La durezza aumenta inoltre incredibilmente con piccole aggiunte di alluminio, titanio e vanadio. Questo perché questi elementi hanno un'elevata affinità con l'azoto e



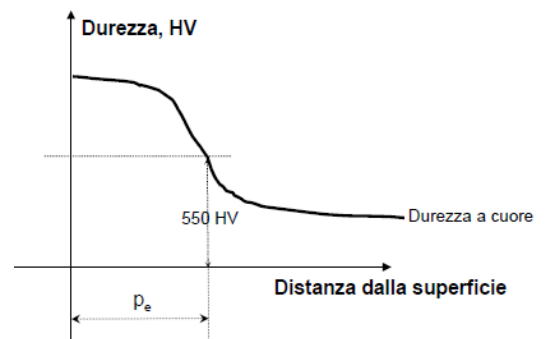
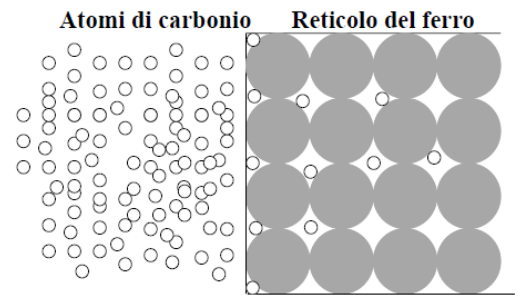
quindi sono in grado di chiamare altre molecole di azoto e formare altri nitruri. Non è obbligatorio avere questi elementi di lega, ma se si vuole incrementare ancora di più la durezza allora sì. Il trattamento sarà esattamente come quello di un acciaio da bonifica. Rinvenimento a 600°.

- **Acciai da cementazione** = sono caratterizzati da un basso tenore di carbonio. La cementazione è un trattamento termochimico di diffusione che consiste nel riscaldare e mantenere per un tempo sufficiente un acciaio a temperatura superiore ad A_3 in un mezzo solido, liquido o gassoso di particolare composizione chimica dal quale possa assorbire prevalentemente carbonio. Sfruttando temperatura e tempo si fa diffondere altro carbonio incrementando la percentuale di carbonio stesso negli altri strati. A seconda dello stato di aggregazione del materiale che fornisce di carbonio la cementazione si suddivide in:

- Solida = non esiste praticamente più
- Liquida = ha problemi legati all'impatto ambientale
- Gassosa = si basa sul rilascio di carbonio a partire dagli idrocarburi

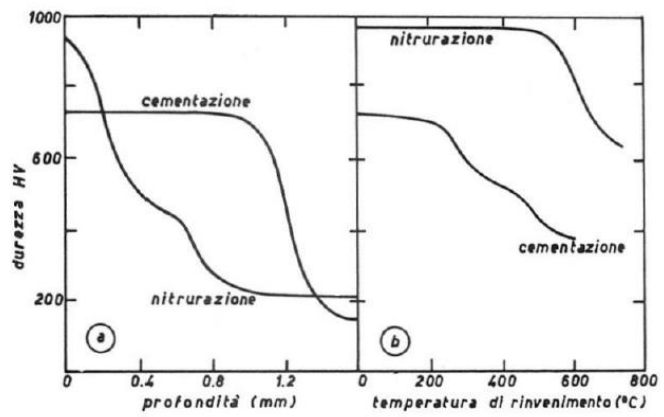
Da un punto di vista termico la cementazione deve essere eseguita in un preciso intervallo di temperatura compreso tra gli 870° e i 930° così da partire sopra l'eutettoide con una fase al 100% di austenite e non rischiare di avere costituenti strutturali meccanicamente instabili. Quanto il carbonio si diffonda all'interno della matrice del ferro dipenderà dal tempo, dalla temperatura stessa e dal potenziale di carbonio reso disponibile da alcune caratteristiche tecniche del gas di emissione. Il tenore di carbonio va in una certa profondità che può essere controllata tramite una curva di durezza: più ci si allontana dalla superficie più diminuisce la durezza. Quando si raggiunge una durezza di 550 HV si raggiunge la profondità di trattamento che risulta essere molto più elevata rispetto a quella della nitrurazione. La cementazione garantisce quindi una profondità di penetrazione del carbonio maggiore della nitrurazione.

Durante un trattamento di cementazione si ottengono due diversi acciai: un acciaio ad alto carbonio, e quindi ha basso A_3 , alla superficie e un acciaio a basso carbonio, e quindi alto A_3 , al cuore. È quindi necessario stare attenti nel disegnare il trattamento termico del componente: bisogna scegliere infatti in modo adeguato la temperatura. L'aumento di durezza si avrà solo durante la tempra e il rinvenimento le cui temperature devono essere scelte in modo tale da essere efficace sia per il cuore che per la superficie: la temperatura sarà sopra A_3 del cuore. Il trattamento termico dovrà avere una temperatura sopra A_3 del cuore: in questo modo si può ottenere una martensite sia nel cuore che nella superficie. Durante la fase di raffreddamento si ha però una disomogeneità che potrebbe portare a distorsioni, tensionamenti e rotture, ma non solo, questo trattamento ha anche un'altra controindicazione: provoca l'ingrossamento del grano dell'austenite. Per evitare ciò una possibilità che si ha è quella quindi di riscaldare il componente, rimanere sopra la temperatura per un tempo sufficiente, far avvenire la diffusione, ridurre la temperatura sempre però in fase austenitica così che il carbonio continua a diffondere ma più lentamente, poi si raffredda e infine si temprava. Se si ha bisogno una martensite meno fragile possibile sulla superficie è possibile sfruttare la doppia tempra: la superficie si ritrasforma in gamma mentre il cuore rimane martensite rinvenuta, a questo punto rinvengo. Nel trattamento di cementazione posso disegnare un trattamento termico differente a seconda delle esigenze che si hanno.



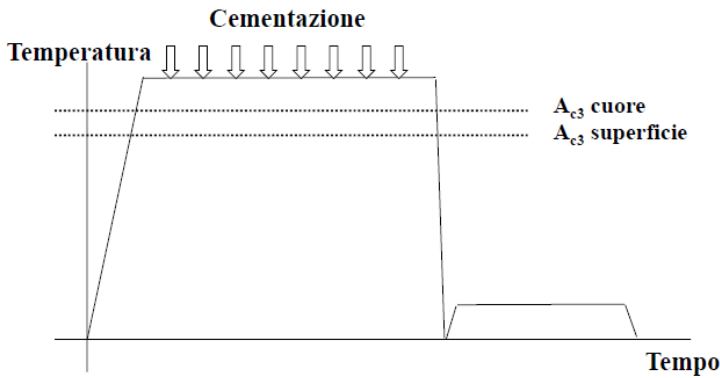
Gli acciai da cementazione sono generalmente caratterizzati da una bassa percentuale di carbonio. Se dobbiamo fare un confronto tra cementazione e nitrurazione possiamo confrontare la durezza e la profondità di diffusione.

Rinvenimento a 200°



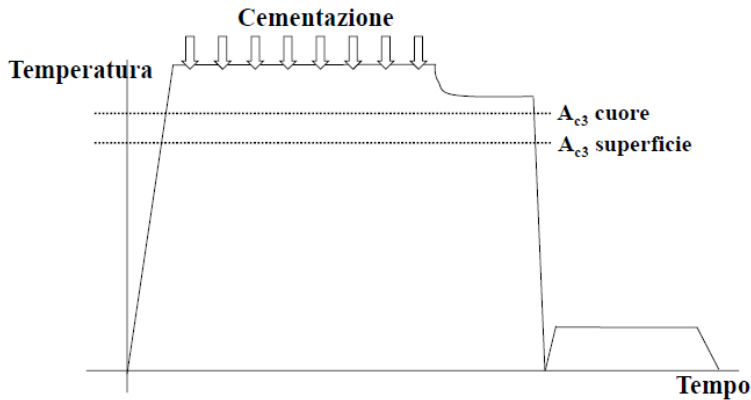
Tempra diretta

- ✓ dalla temperatura di cementazione
- ✓ distensione a 150°-180°C



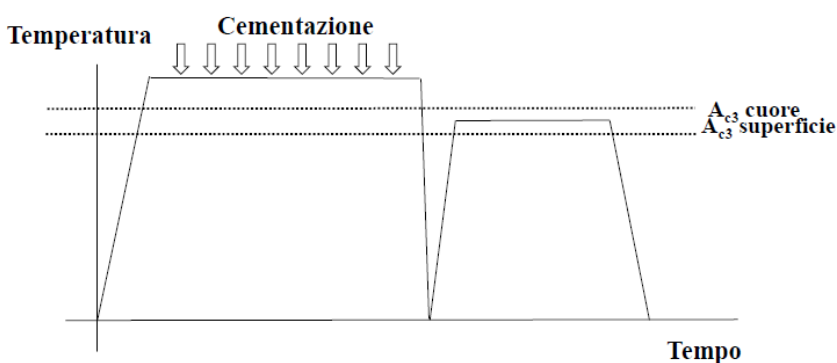
Singola Tempra

- ✓ raffreddamento in forno dopo cementazione
- ✓ successiva tempra
- ✓ distensione a 150°-180°C



Doppia Tempra

- ✓ tempra diretta
- ✓ successiva tempra (780°-820°)
- ✓ distensione a 150°-180°C



		CICLI TECNOLOGICI			
		AUTOTEMPRANTI	MOLLE	BONIFICA	
	CEMENTAZIONE	Ricottura	Rigenerazione	Rigenerazione	Rigenerazione
	Sgrossatura	Sgrossatura	Sgrossatura	Sgrossatura	Sgrossatura
	cementazione	-	-	-	-
	Tempra	Tempra	Tempra	Tempra	Tempra
	Rinvenimento a 150°	Rinvenimento a 180°	Rinvenimento a 450°	Rinvenimento a 600°	Rinvenimento a 600°
	Lavori di finitura	Lavori di finitura	Lavori di finitura	Lavori di finitura	Lavori di finitura
	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-
				Nitrurazione	
				Lucidazione	