

Capitolo X

ACCIAI: EFFETTO DEGLI ELEMENTI DI LEGA

Gli acciai legati sono acciai in cui elementi di lega vengono debitamente aggiunti per variare alcune caratteristiche meccaniche o fisiche del materiale;

L'aggiunta degli elementi di lega va ad influire sulle cinetiche di trasformazione degli acciai e sui fenomeni di recupero, ricristallizzazione e crescita dei grani.

Le proprietà degli acciai dipendono dalle caratteristiche delle singole fasi costituenti, le due fasi principali sono l'austenite fcc e la ferrite ccc, per cui la prima grande divisione degli elementi di lega considera quelli con potere austenitizzante e quelli con potere ferritizzante.

Elementi austenitizzanti:

Il carbonio ha l'effetto di diminuire la temperatura di trasformazione austenite-ferro α (abbassa il punto A3) e di aumentare la temperatura di transizione austenite-ferro δ , quindi espande il campo di esistenza del ferro γ e per ciò è detto stabilizzatore dell'austenite.

Tutti gli elementi con lo stesso effetto sono detti austenitizzanti,

Nichel e manganese abbassano la temperatura di transizione da FCC a BCC fino a temperatura ambiente,

Azoto e rame formano il primo nitruri e il secondo soluzioni solide che producono lo stesso effetto;

Altri elementi austenitizzanti sono: Pt, Ir, Os, Ru.

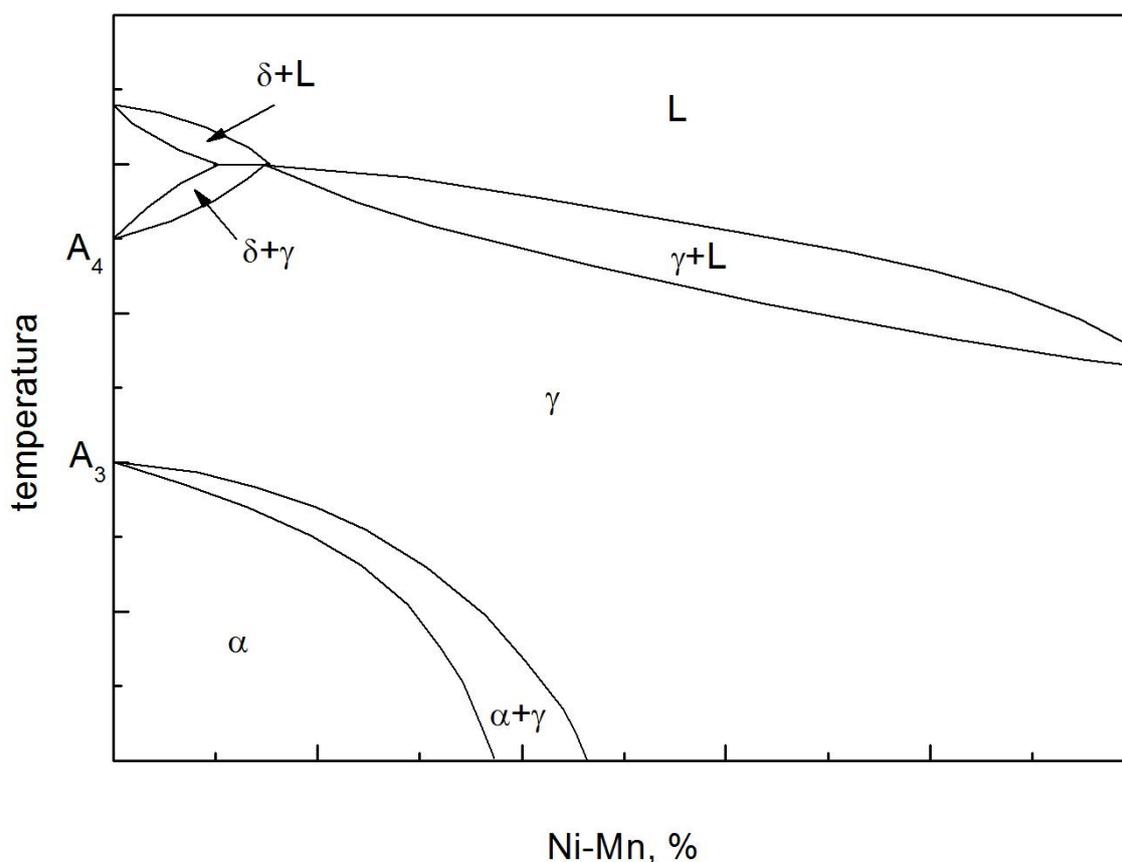


Figura 10.1: effetto austenitizzante di Ni e Mn.

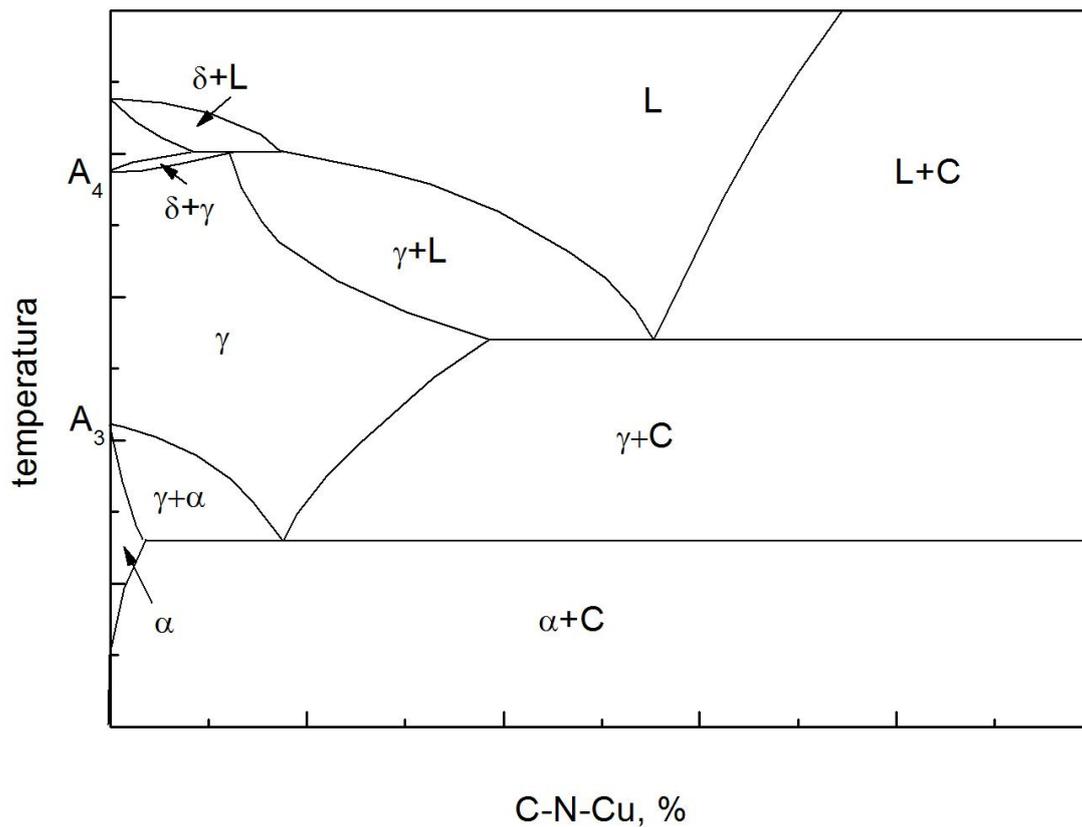


Figura 10.2: effetto austenitizzante di C, N e Cu.

Elementi ferritizzanti:

Il secondo gruppo di elementi raggruppa quelli che favoriscono la formazione della ferrite rispetto all'austenite.

Di questi un gruppo restringe il campo di esistenza FCC: Cr, Ti, V, Mo, Si, Al.

Il secondo restringe il campo di esistenza del ferro γ abbassando la temperatura di transizione austenite-ferro δ : B, Ni, Zr, Ta.

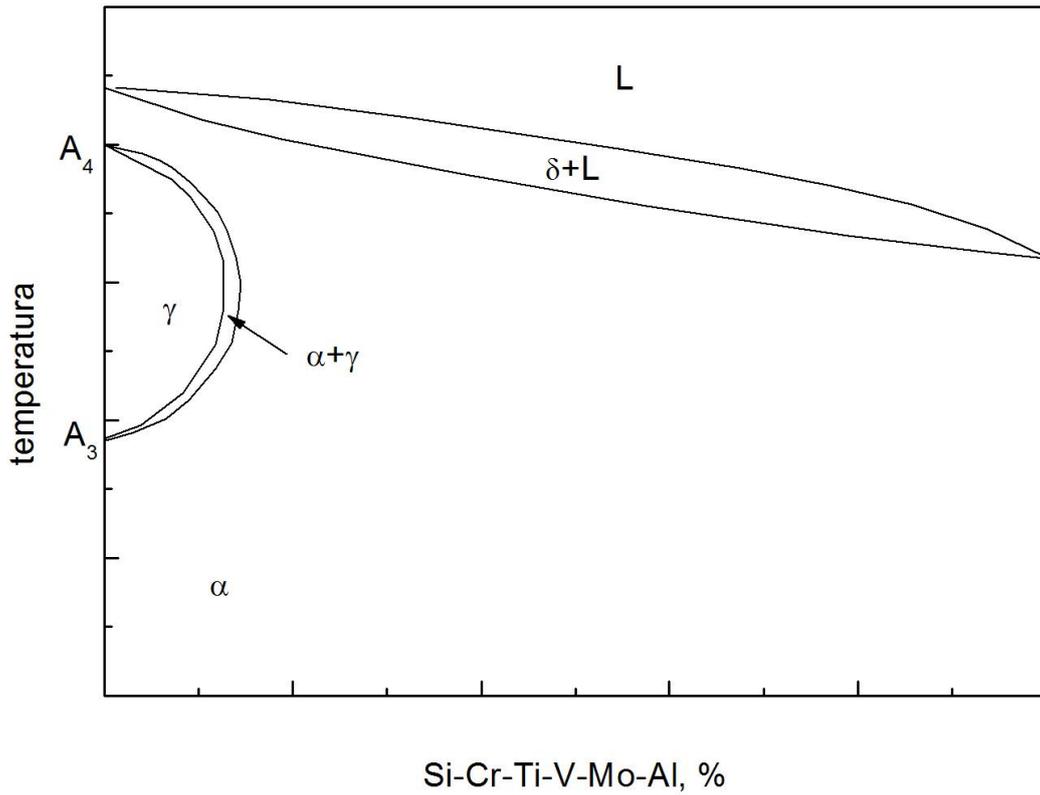


Figura 10.3: effetto ferritizzante di Si, Cr, Ti, V, Mo e Al.

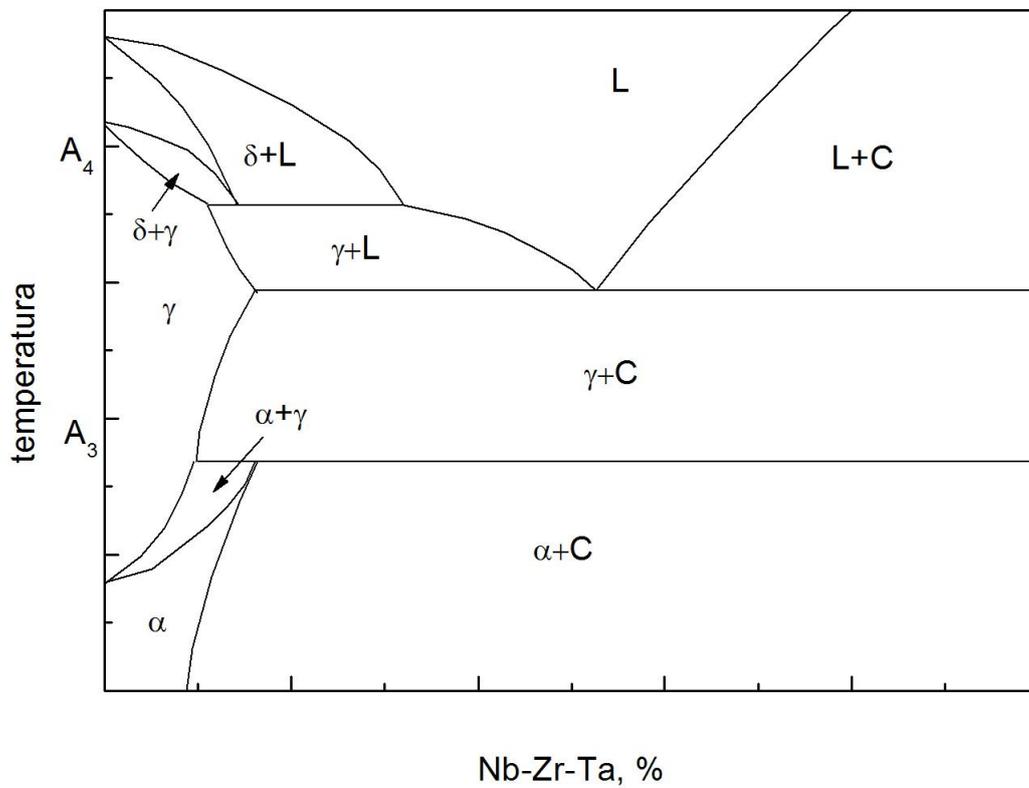


Figura 10.4: effetto ferritizzante di Nb, Zr e Ta.

Nel caso in cui gli elementi aggiunti siano 2 si possono presentare tre differenti casi:

- Entrambi gli elementi allargano il campo di esistenza di γ così da limitare il campo di esistenza di α in un piccolo spigolo alle basse temperature.
- Entrambe restringono il campo di esistenza di γ limitandola a una piccola zona sullo spigolo del Fe.
- Uno dei due elementi produce un allargamento mentre l'altro produce un restringimento del campo γ , la forma del diagramma diviene più complessa con i campi γ e α più o meno ampi sui lati dei diagrammi binari corrispondenti.

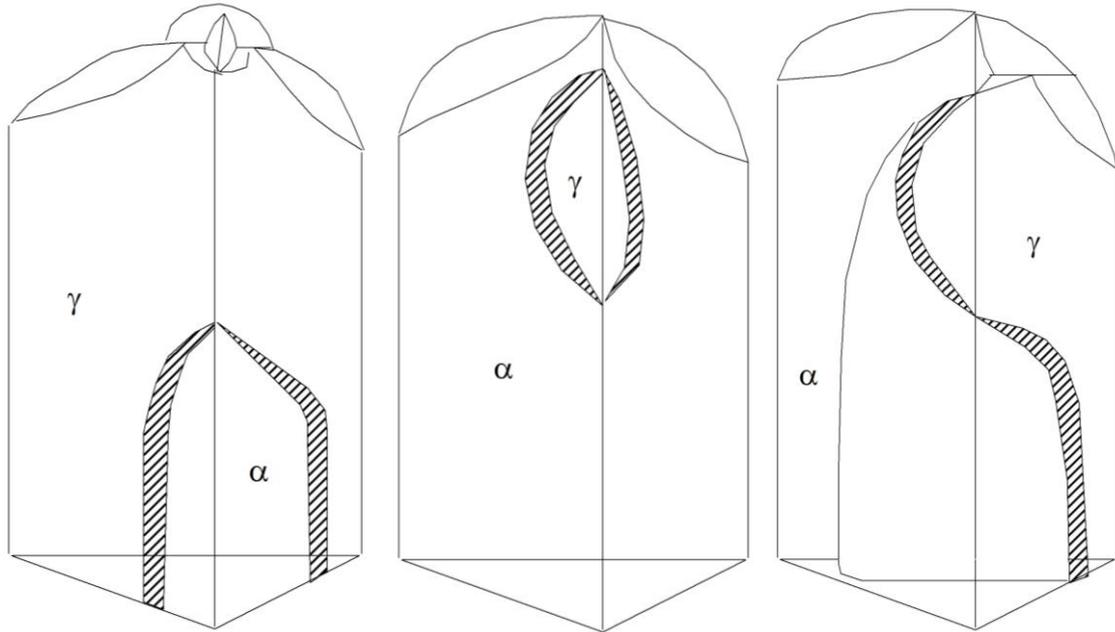


Figura 10.5: diagramma ternario

Per visualizzare le differenti situazioni è molto conveniente considerare o sezioni trasversali a temperatura costante o sezioni longitudinali a concentrazione costante.

Prima di far ciò diamo brevemente una descrizione dei diversi sistemi binari.

Diagramma Fe-Ni

Forma col Fe soluzioni solide in ogni proporzione.

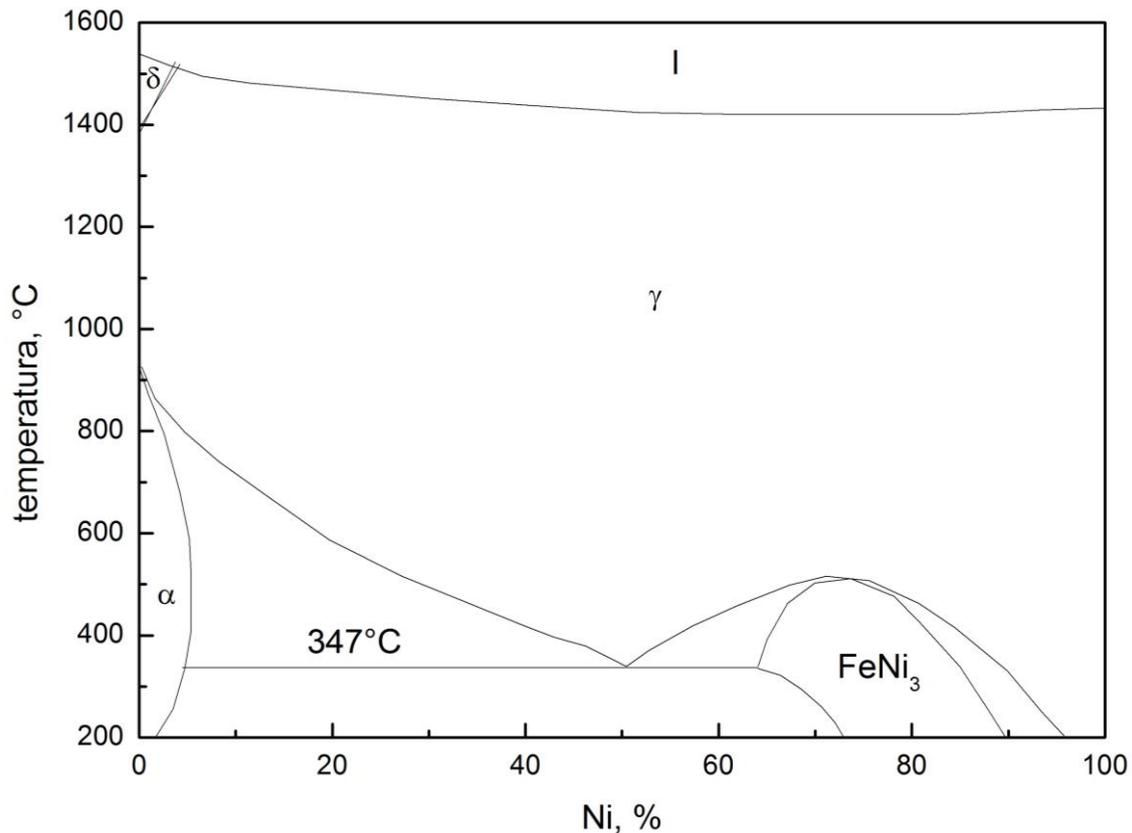


Figura 10.6: diagramma Fe-Ni

All'aumentare del tenore di Ni si nota un brusco abbassamento di A3.

E' da notare come, all'atto pratico, si presenti una fortissima isteresi nella trasformazione di una forma allotropica nell'altra. Tale comportamento viene messo in evidenza nel diagramma che fa riferimento alle condizioni di non equilibrio corrispondenti ai processi tecnologici. In questo caso non si può più parlare di veri e propri punti di trasformazione, ma di un intervallo notevole (tratteggiato nel diagramma) a cui è legata la durata della trasformazione.

Il fenomeno dell'isteresi della trasformazione $\gamma \rightarrow \alpha$ è comune a tutti gli acciai, ed è apprezzabile anche per gli acciai al carbonio, ma acquista importanza particolare per il diagramma Fe-Ni.

L'abbassamento della temperatura della trasformazione $\gamma \rightarrow \alpha$ col crescere del tenore di nichel porta l'austenite stabile, con raffreddamento lento, a temperatura ordinaria, per tenori uguali o superiori a 25 % circa: per ottenere l'inizio della trasformazione occorre raffreddare tali leghe sotto gli 0°C. In particolare per tenori di Ni=30-35 % sembra che la trasformazione $\gamma \rightarrow \alpha$ a -200°C non sia ancora terminata.

Nichel

Il coefficiente di dilatazione termica sale fino a tenori di Nichel del 36-38% fino a cadere bruscamente aumentando tale tenore.

Il peso specifico raggiunge un minimo per il Ni=40% e poi aumenta bruscamente.

Per Ni=25% si ha una lega non magnetica, mentre per Ni=78.5 % si ha una elevatissima permeabilità magnetica.

L'aggiunta di Nichel da 20-25% migliora enormemente la resistenza a corrosione degli acciai.

All'aumentare del tenore di Nichel diminuisce la temperatura di ricottura e tempra.

Diminuisce la velocità critica di tempra.

Aumenta la penetrazione di tempra.

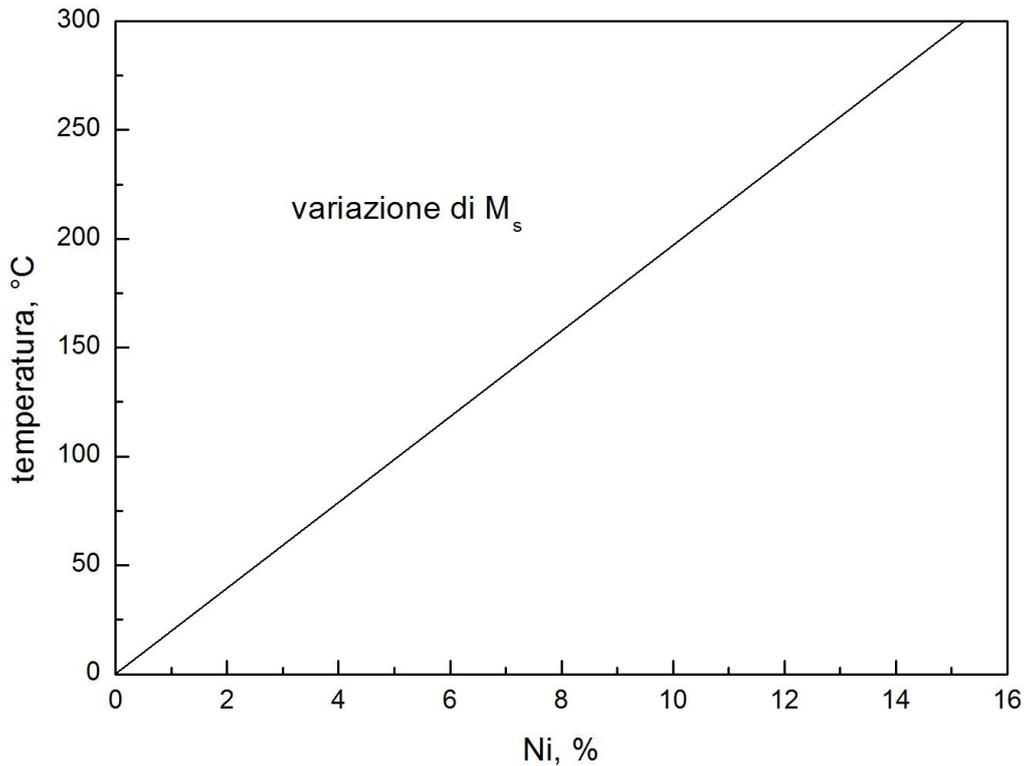


Figura 10.7: variazione di M_s al variare del tenore di Ni.

gli acciai contenenti nichel hanno:

- bassa temperatura di ricottura e di tempra;
- bassa velocità critica di tempra: è quindi possibile raffreddare il materiale con mezzi meno energici (olio), diminuendo i pericoli di rottura anche in pezzi di notevoli dimensioni e di forma irregolare;
- piccole deformazioni di tempra: questa proprietà consente una diminuzione dei sovrametalli lasciati per le operazioni di finitura;
- elevata penetrazione della tempra, anch'essa in conseguenza della minore velocità critica di tempra; ciò annulla o almeno attenua in notevole misura le differenze di caratteristiche tra la superficie ed il centro di un pezzo;
- elevata tenacità: quindi il nichel è da considerarsi un elemento desiderabile negli acciai da costruzione.

Aumenta la tenacità e la resilienza a parità di resistenza a trazione.

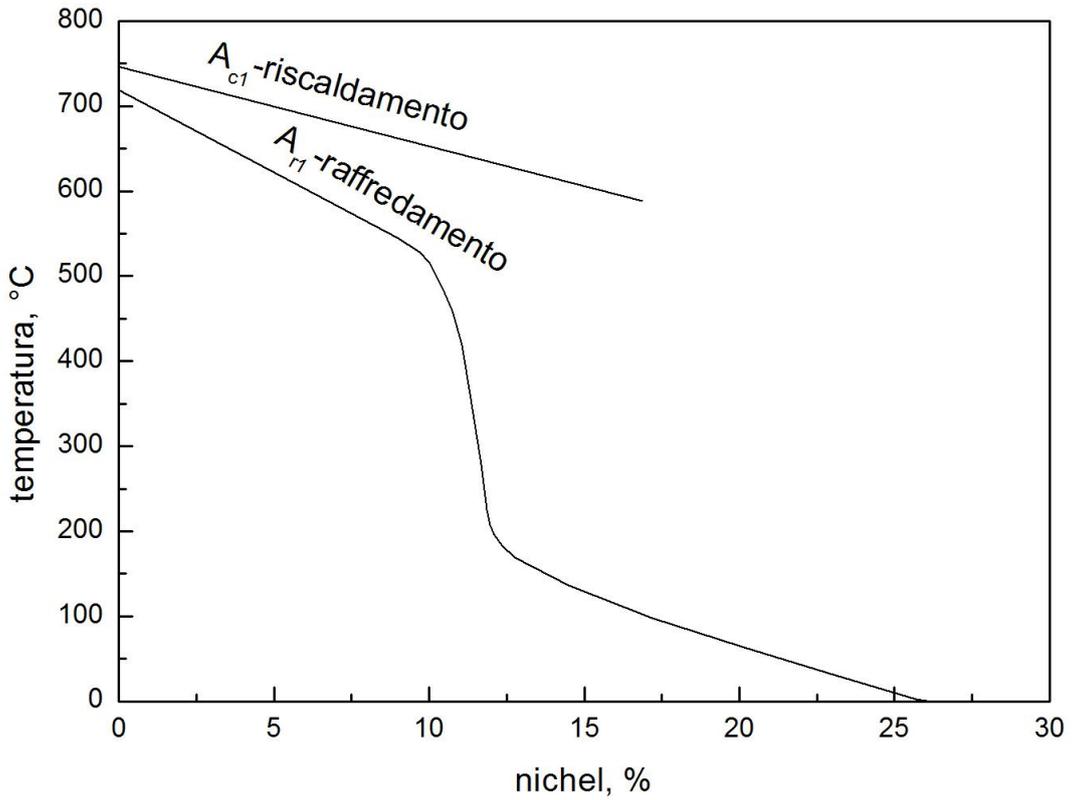


Figura 10.8: variazione di A_{c1} e A_{r1} al variare del tenore di Ni.

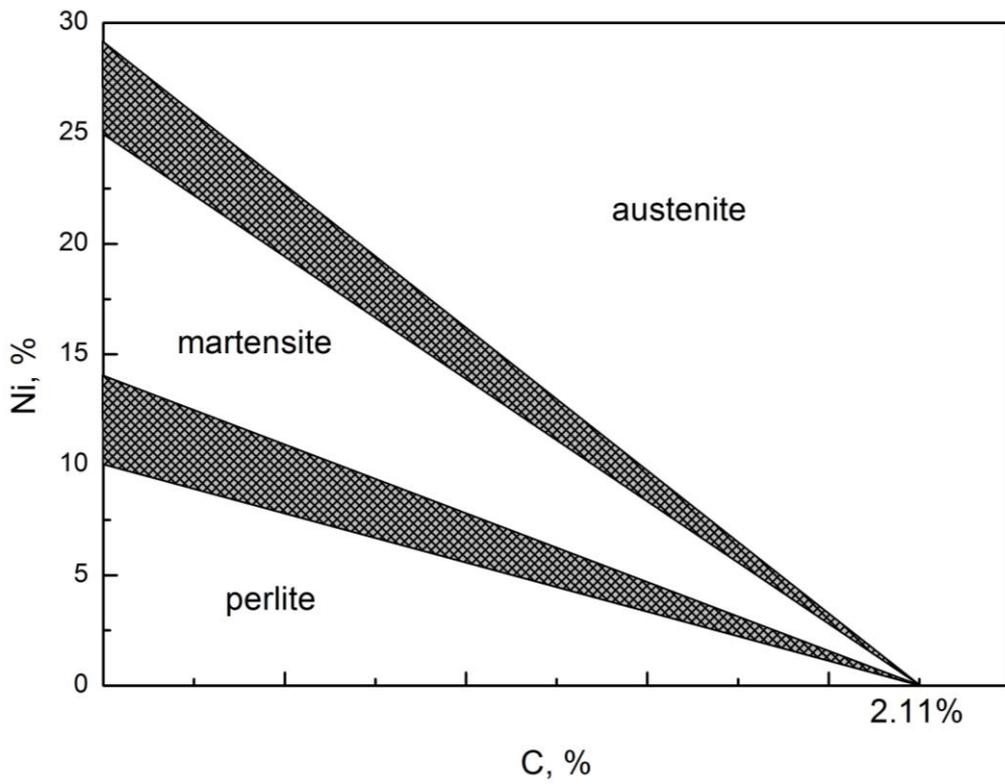


Figura 10.9: formazione di differenti strutture a temperatura ambiente in funzione dei tenori di C e Ni.

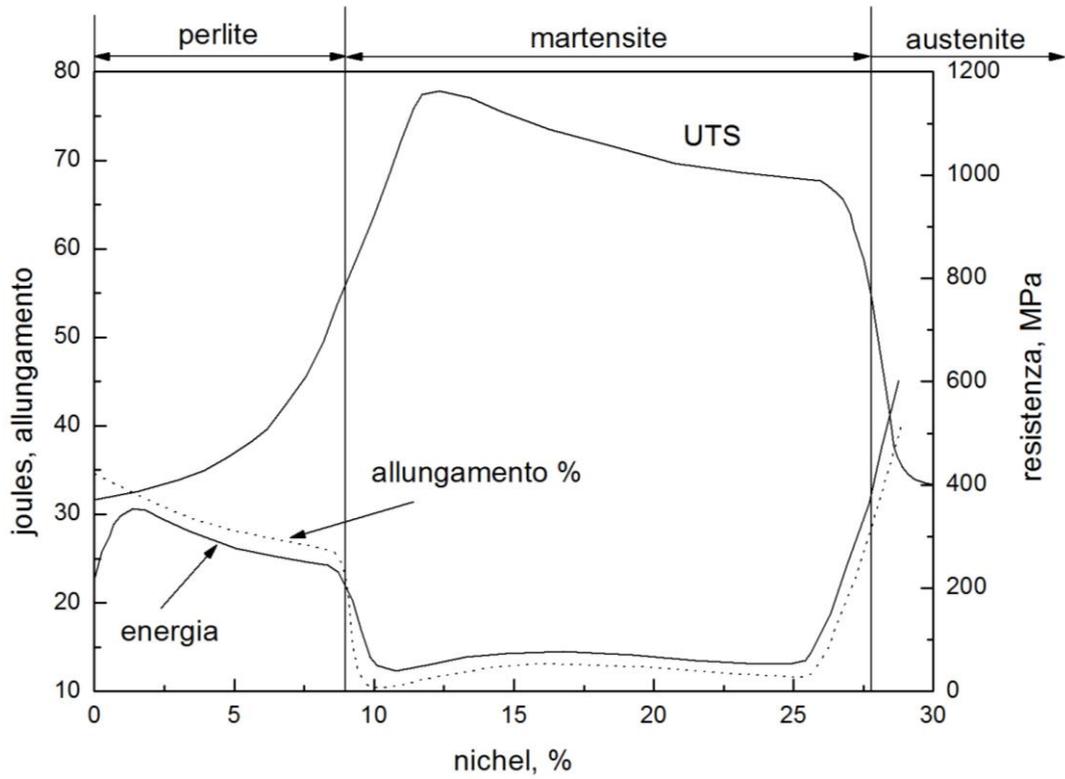


Figura 10.10: variazione delle proprietà meccaniche al variare del tenore di Ni.

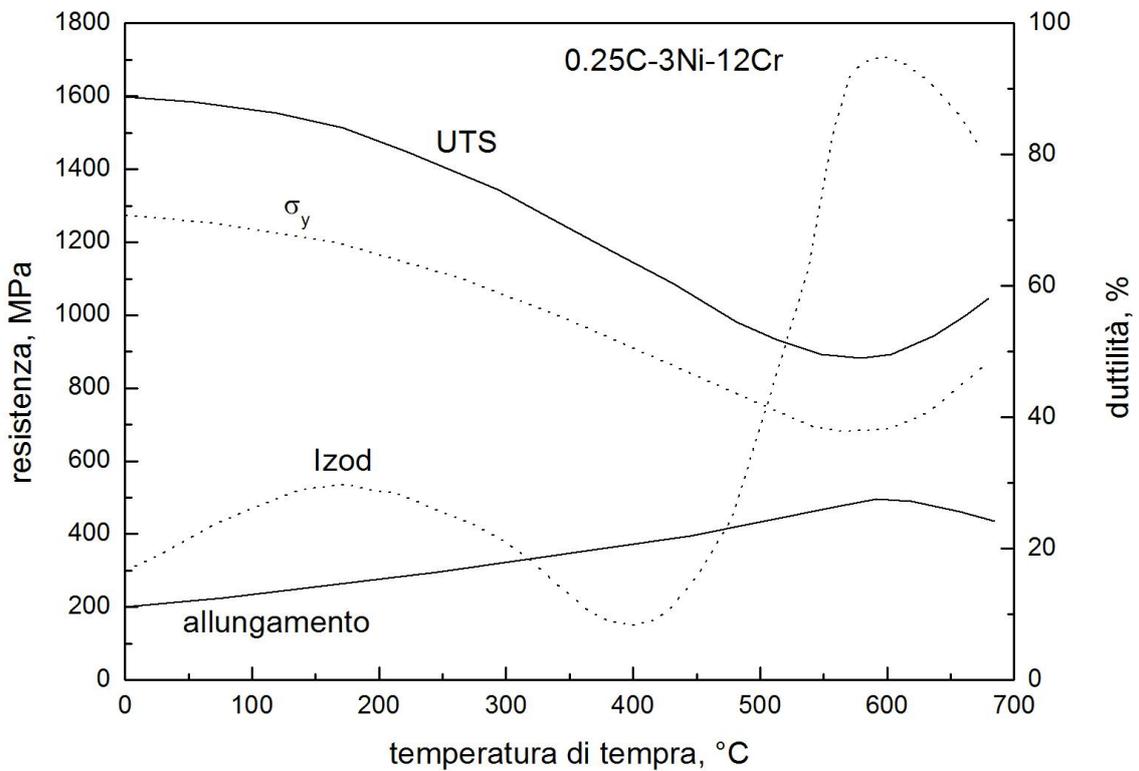


Figura 10.11: variazione delle proprietà meccaniche al variare della temperatura.

Diagramma Fe-Cr

Il Cr è solubile nel ferro in tutte le proporzioni con eccezione di un campo centrale in cui si forma la fase σ come mostrato dal diagramma seguente,

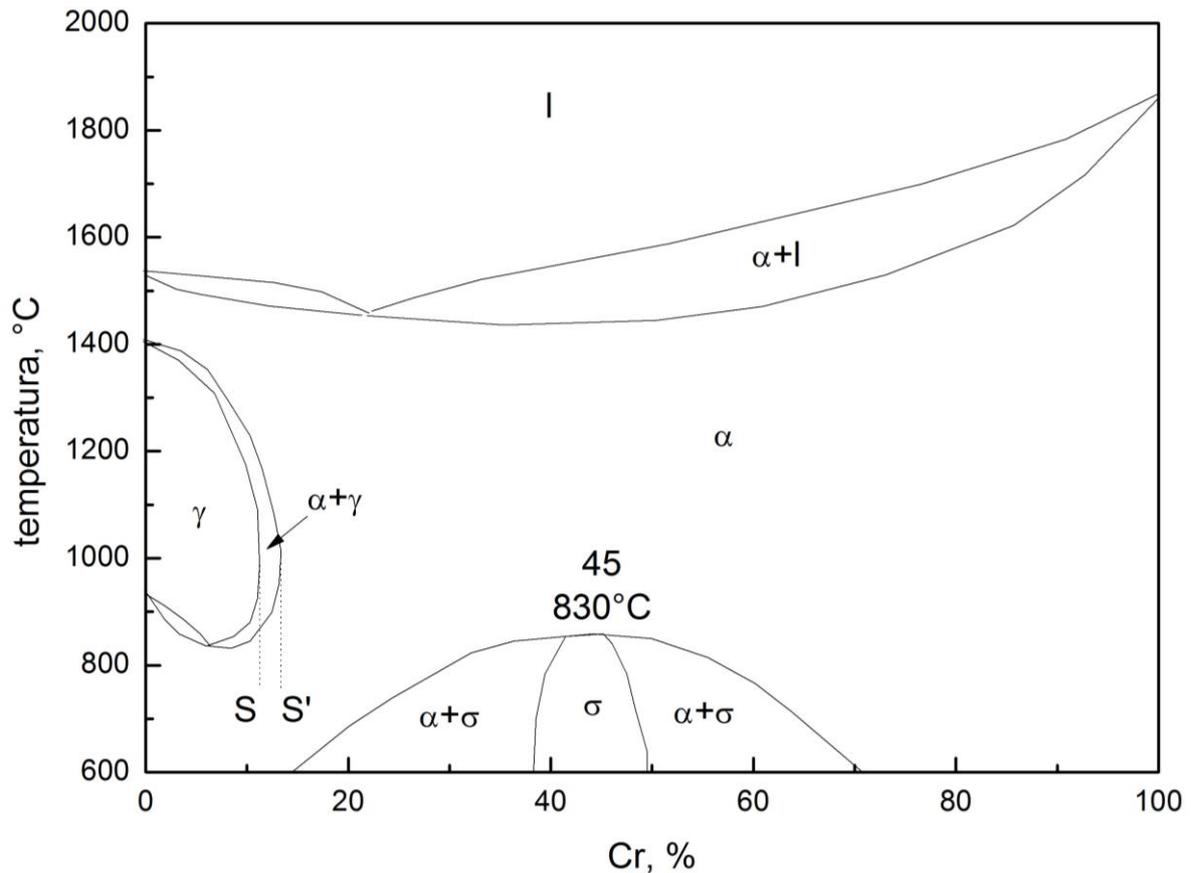


Figura 10.12: diagramma Fe-Cr

Il punto S è al 12% di Cr mentre il punto S' al 14%. Osservando il diagramma possiamo distinguere tre principali tipi di leghe Fe-Cr-(C).

-Cr fino al 12%, che subiscono la trasformazione $\gamma \rightarrow \alpha$ e sono dette martensitiche.

-Cr tra il 12 e il 14%, in cui una parte della struttura α non subisce trasformazioni e sono dette leghe semi-ferritiche.

-Cr maggiore del 14%, sempre in fase α dette ferritiche.

Bisogna tener conto comunque che la fase γ varia al variare del tenore di carbonio spostando i punti S e S' verso destra all'aumentare del tenore.

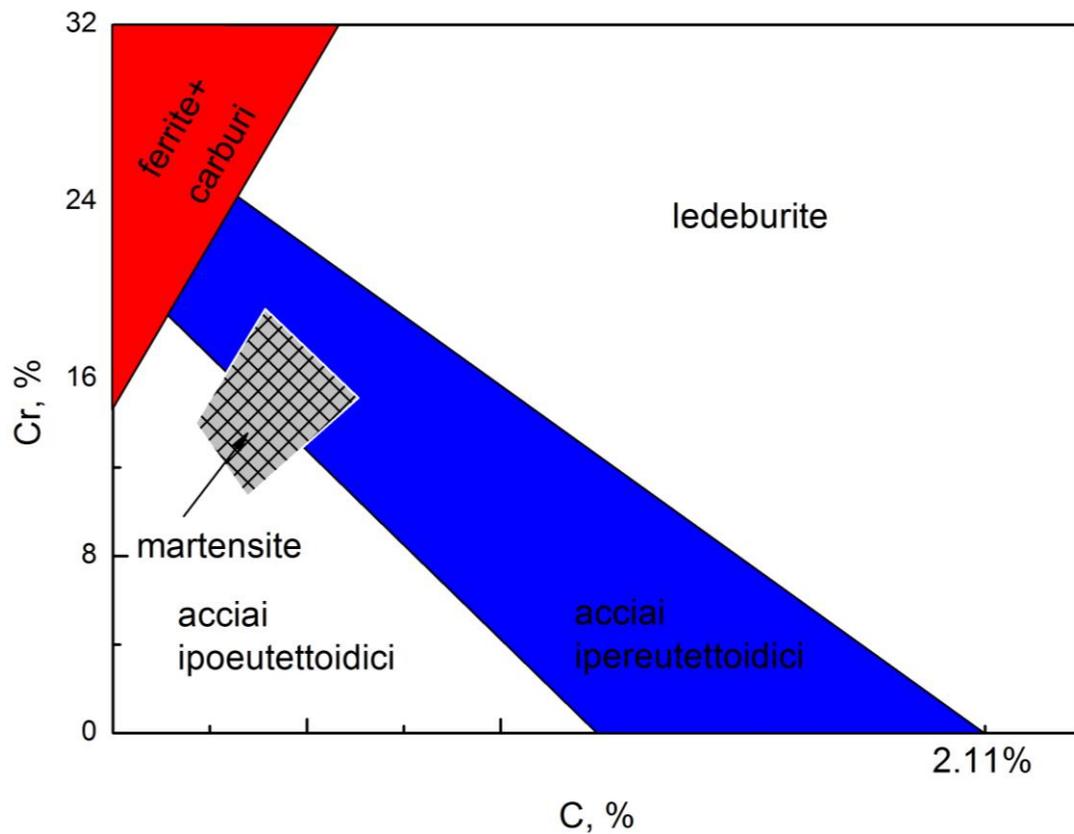


Figura 10.13: formazione di differenti strutture a temperatura ambiente in funzione dei tenori di C e Cr.

Diagramma Cromo-Nichel

Un'importante classe di materiali è quella degli acciai inossidabili. Tali materiali, il cui studio dettagliato verrà affrontato in altra sede, devono la loro combinazione di proprietà meccaniche e di resistenza alla corrosione alla presenza contemporanea, come elementi di lega, di cromo e nichel. Risulta evidente come per uno studio attento di tali materiali sia necessario l'ausilio di un diagramma di stato ternario Fe-Cr-Ni. In quest'ottica, e in vista di futuri approfondimenti si ritiene utile in questa sede inserire il diagramma di stato binario Cr-Ni.

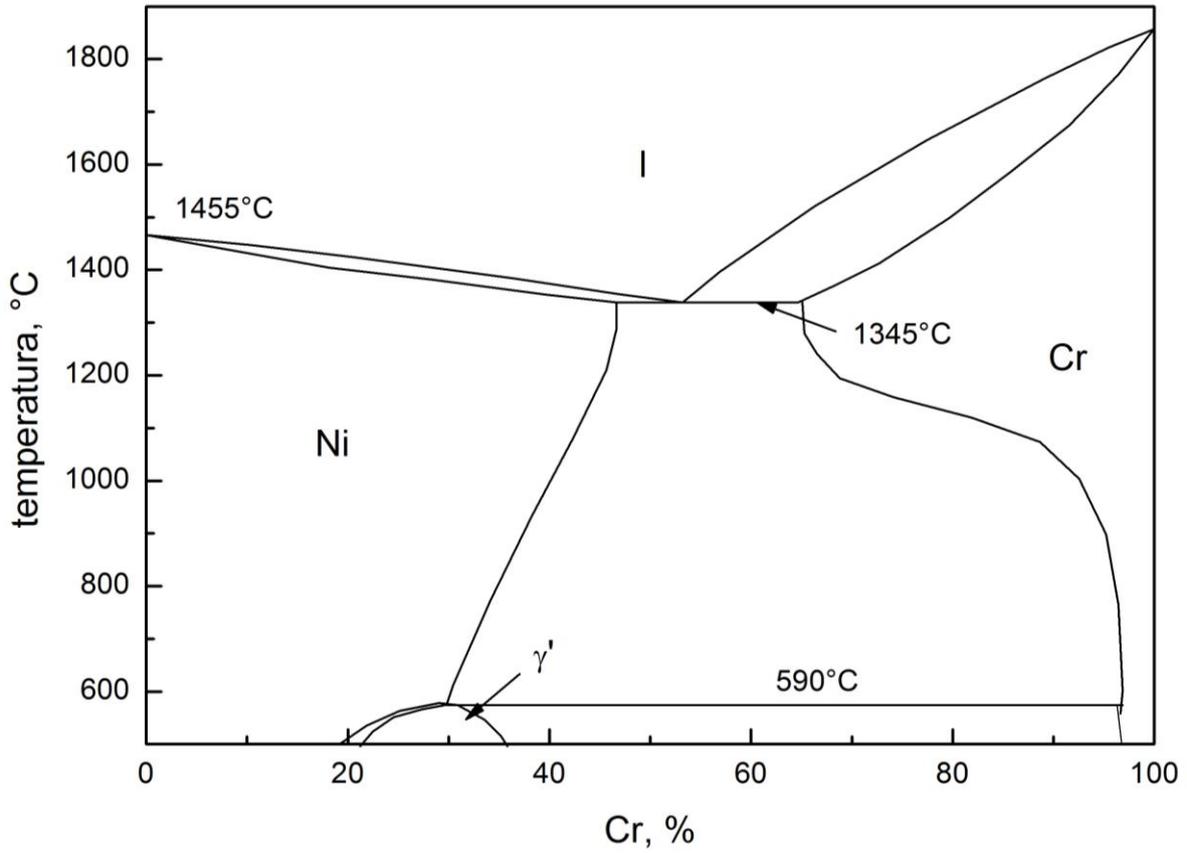
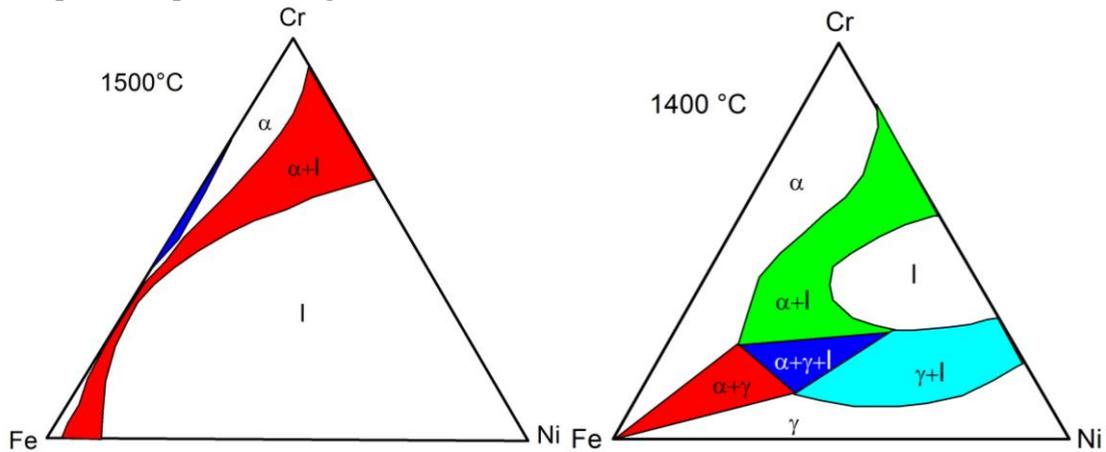
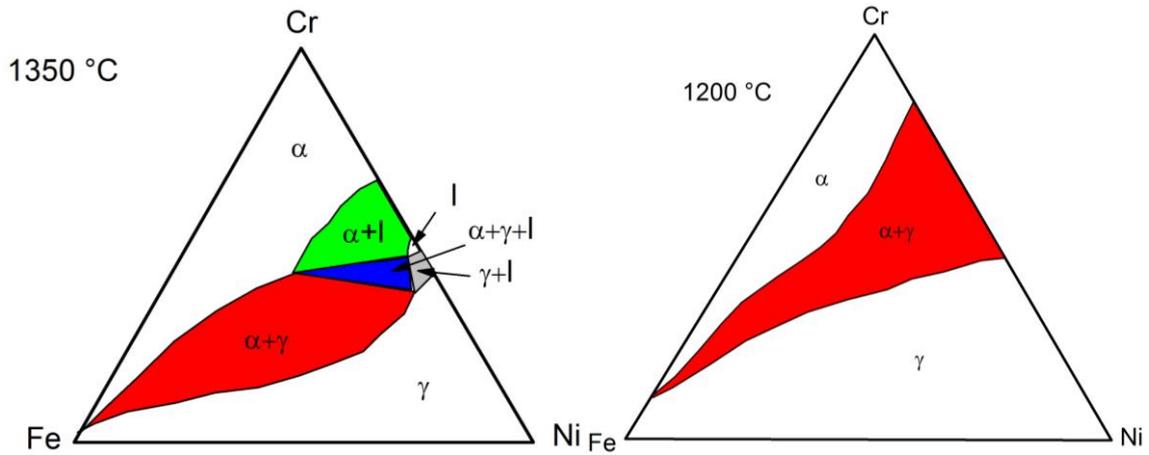


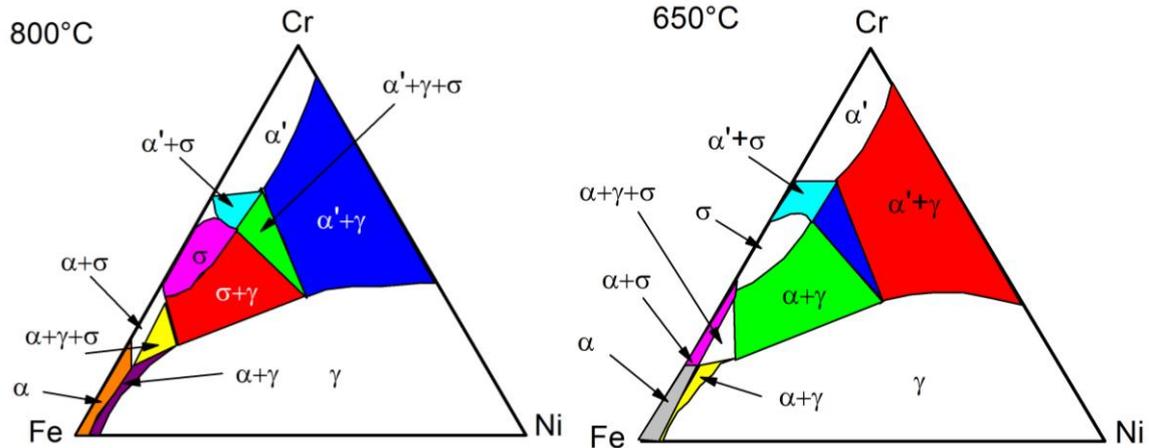
Figura 10.14: diagramma Cr-Ni

Riferendoci al sistema Fe-Cr-Ni molto utile per lo studio delle trasformazioni osservabili negli acciai inossidabili, riportiamo le sezioni isoterme corrispondenti a diverse temperature indicando i diversi campi allotropici della lega,

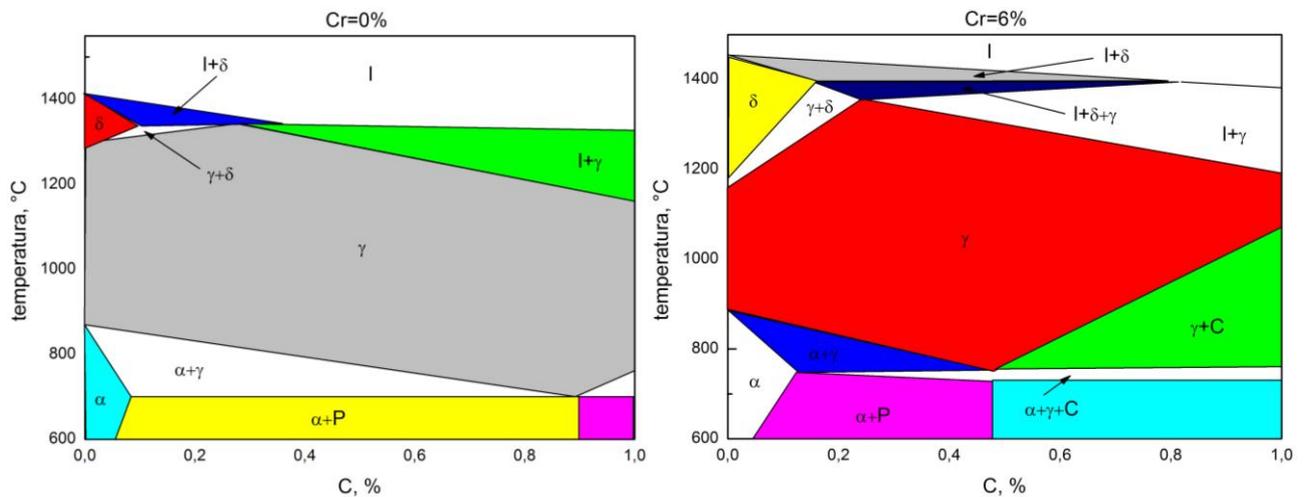


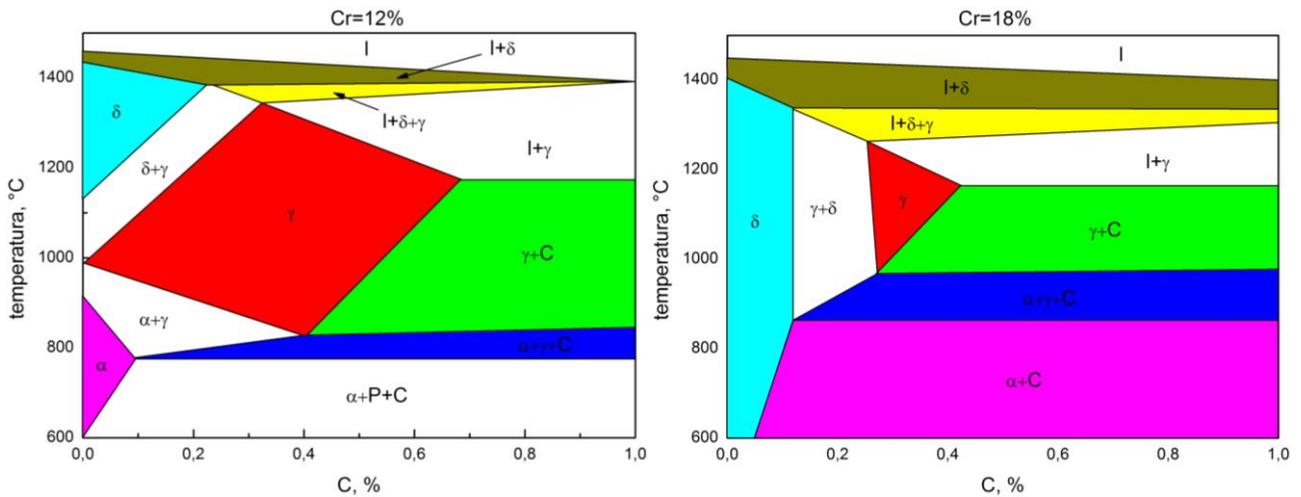


La figura precedente ci mostra i campi di esistenza della fase α e γ alla fine della solidificazione.

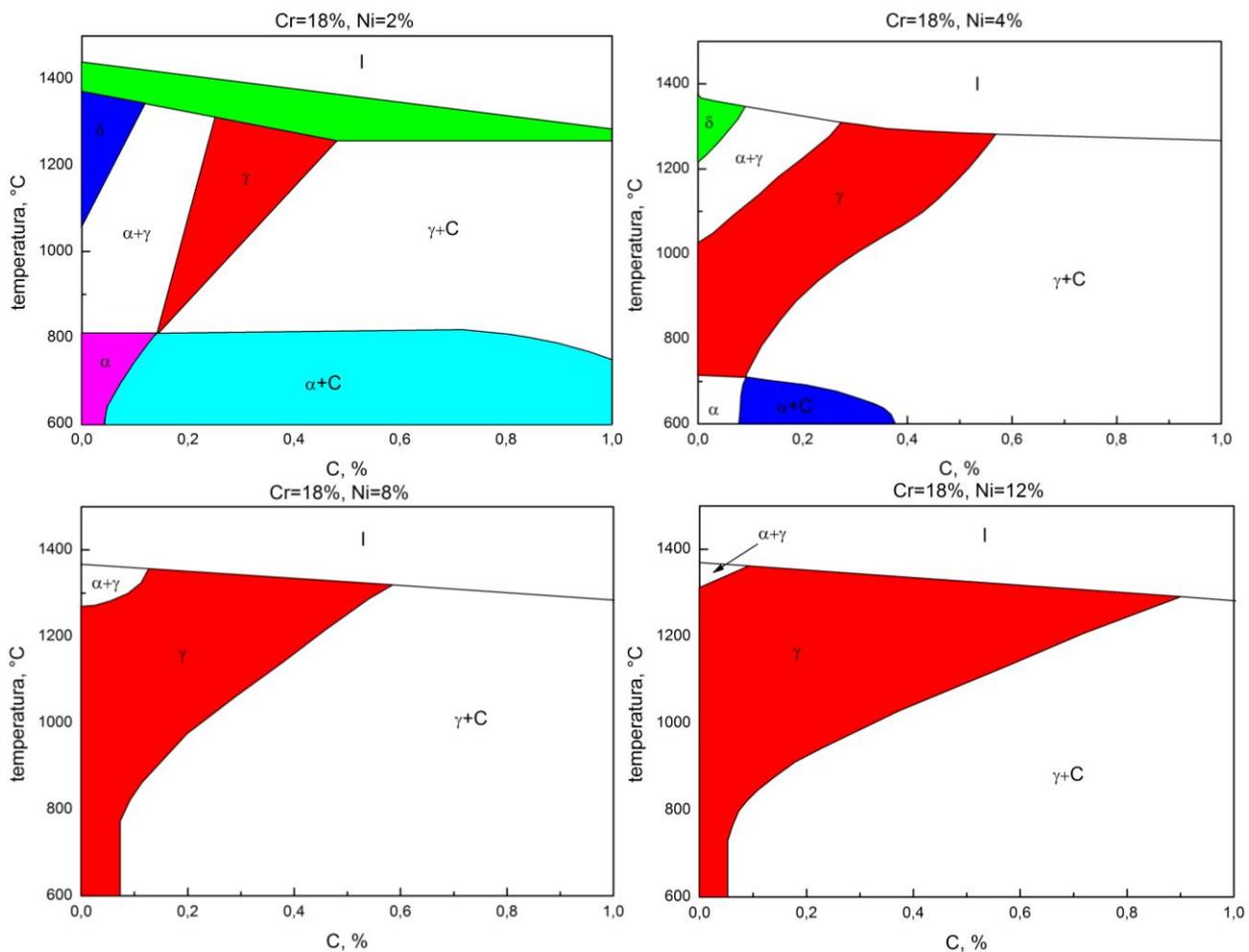


La figura precedente ci mostra due sezioni isoterme relative a un intervallo “delicato” per questi materiali 600-900° corrispondente alla precipitazione della fase σ fortemente fragile. Per valutare come variano le linee di trasformazione del sistema Fe-C al variare del tenore di Cr e Ni osserviamo le sezioni a concentrazione costante per diversi quantitativi di Cr e Ni.





Il campo di esistenza del ferro- γ si restringe con aumento dei campi α e δ all'aumentare del tenore di cromo. L'eutettoide si sposta via via verso l'alto giungendo a 1030°C per Cr18% e C0.3%.



A parità di concentrazione di Cr (18%) l'aggiunta di Ni produce una estensione del campo γ , scompaiono le fasi α e α +carburi e l'eutettoide si sposta verso il basso. L'acciaio inossidabile 18-8 con basso carbonio è formato esclusivamente da fase γ e all'aumentare del tenore di C inizia la precipitazione di carburi complessi.

Se consideriamo acciai che formano ferrite e carburi dall'austenite durante raffreddamento lento, si possono dividere gli elementi di lega in tre gruppi differenti:

- elementi che vanno solo nella fase ferritica,
- elementi che entrano nella fase ferritica e formano carburi stabili,
- elementi che formano solo carburi stabili.

La maggior parte degli elementi di lega negli acciai appartengono alla seconda categoria, in basse concentrazioni formano soluzioni solide nella ferrite e/o nella cementite mentre in alte concentrazioni formano carburi più stabili della cementite.

Un esempio interessante è rappresentato in figura dove sono mostrati i carburi che si formano in un acciaio 0.2C al variare del contenuto di Cr e V.

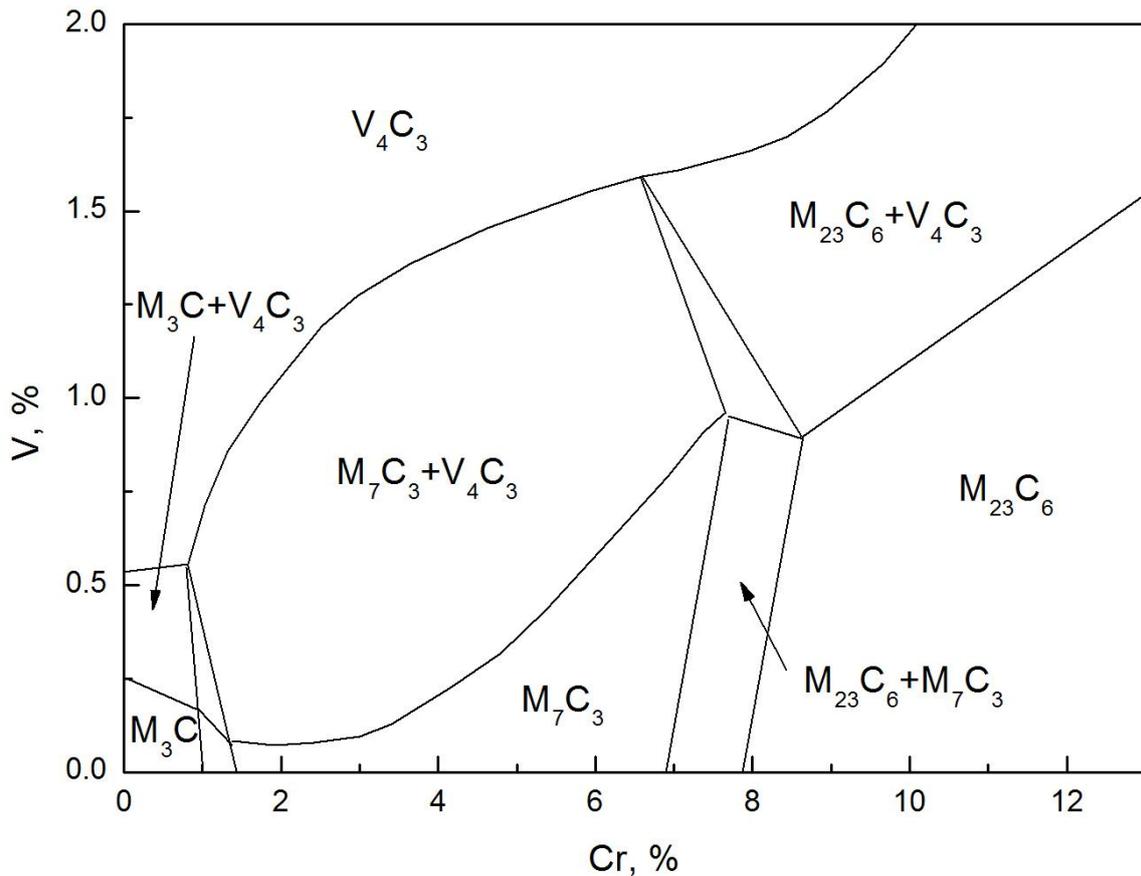


Figura 10.15: Formazione di carburi

Gli elementi di lega producono anche la formazione di carburi e composti intermetallici.

Elementi che formano carburi:

- formazione moderata di carburi: Cr, Mo,
- formazione ingente di carburi: W, Ta, Nb,
- formazione molto ingente di carburi: V, Ti, Zr.

Stabilizzatori della grafite:

Alcuni elementi si dissolvono nella ferrite, tale reazione inibisce termodinamicamente la formazione della cementite;

Tale reazione favorisce la formazione di grafite libera e per tale motivo gli elementi che la accelerano sono detti stabilizzatori della grafite:

Ni e Si

Effetto degli elementi di lega sulla trasformazione austenite-ferrite: Per una generica lega Fe-C-X la trasformazione austenite-ferrite può avvenire in differenti modi funzione degli elementi aggiunti e a differenti temperature nella stessa lega a seconda che:

- vi sia crescita con ripartizione dell'elemento X nel ferro α e nel ferro γ .
- vi sia crescita senza ripartizione dell'elemento X nel ferro α e nel ferro γ .

Nella prima modalità, la ferrite cresce più lentamente a causa della diffusività dell'elemento X nell'austenite.

Effetto degli elementi di lega sulla trasformazione perlitica: Si è già detto che la trasformazione perlitica evolve per nucleazione ed accrescimento, la velocità di trasformazione è legata alla velocità di nucleazione (N) e alla velocità di accrescimento (G); vi sono elementi di lega quali Ni e Mo ritardano la reazione facendo decrescere entrambe le velocità.

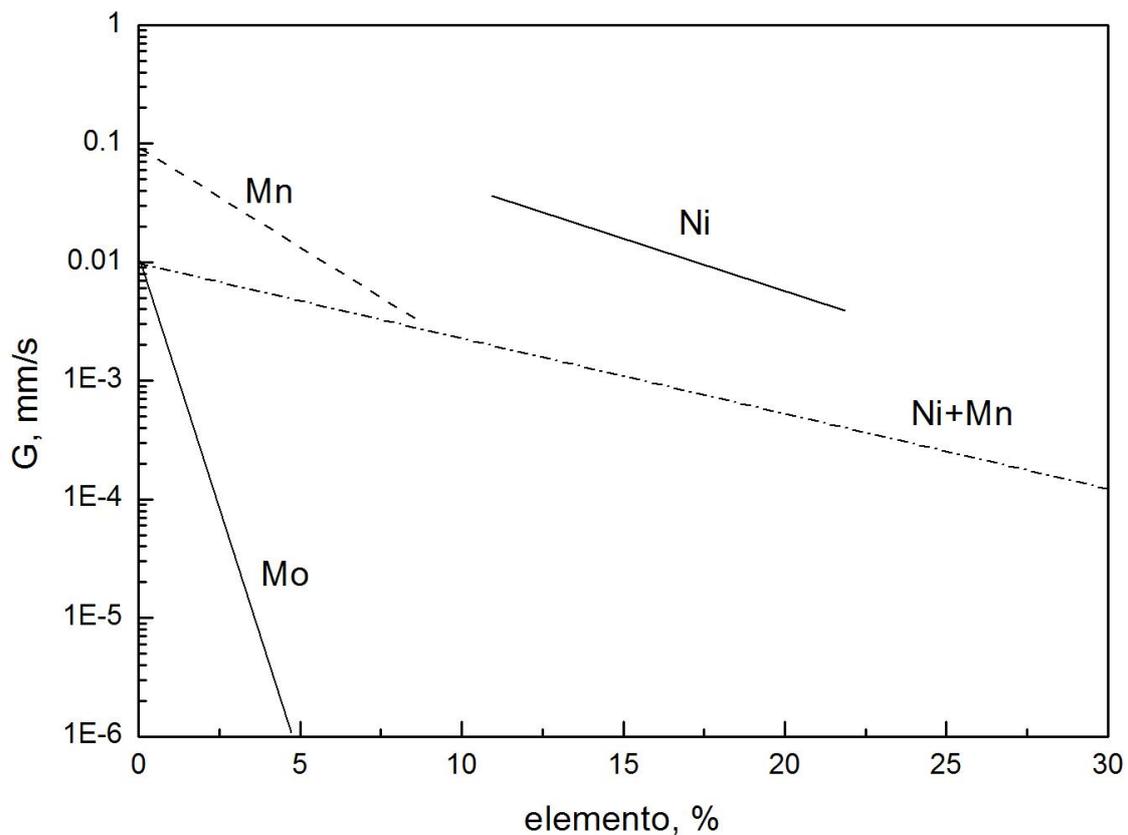


Figura 10.16: effetto degli elementi di lega sull'accrescimento perlitico

Altri elementi quali il Co fanno aumentare sia N che G.

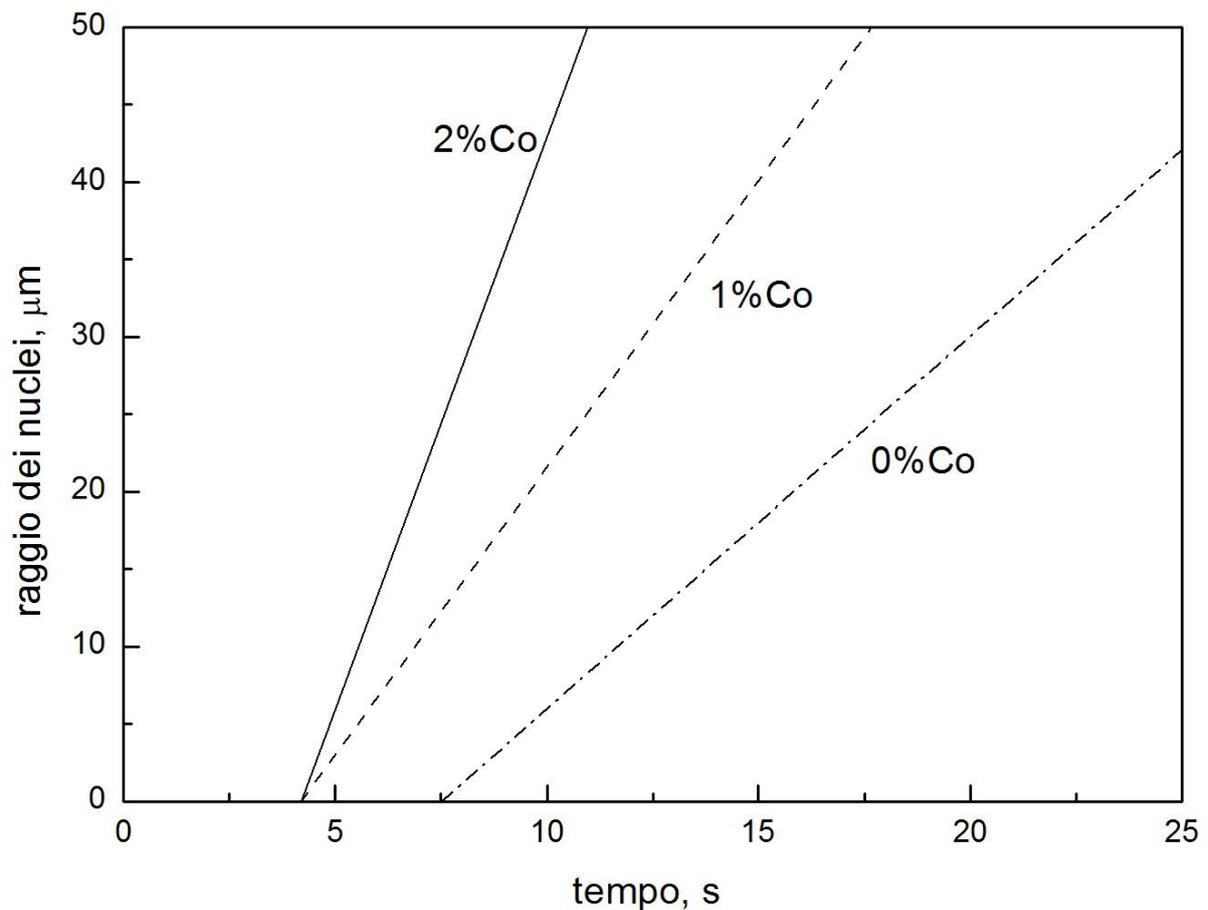


Figura 10.17: effetto del Co sull'accrescimento perlitico

Modificazioni morfologiche legate all'aggiunta di elementi di lega: In generale, elementi di lega quali Ni, Si e Mn che non formano carburi in competizione con la cementite non alterano sensibilmente la microstruttura dell'acciaio a temperatura ambiente. Invece elementi quali Cr, Mo e W formando carburi sottraggono carbonio alla possibile formazione di cementite andando a modificare fortemente le microstrutture ottenibili. Elementi quali V, Nb e Ti essendo forti formatori di carburi alterano la microstruttura in maniera ancor più pronunciata. Fattore importante da tener presente è che la solubilità di carburi e nitruri diminuisce con la temperatura come mostrato nella figura 10.18,

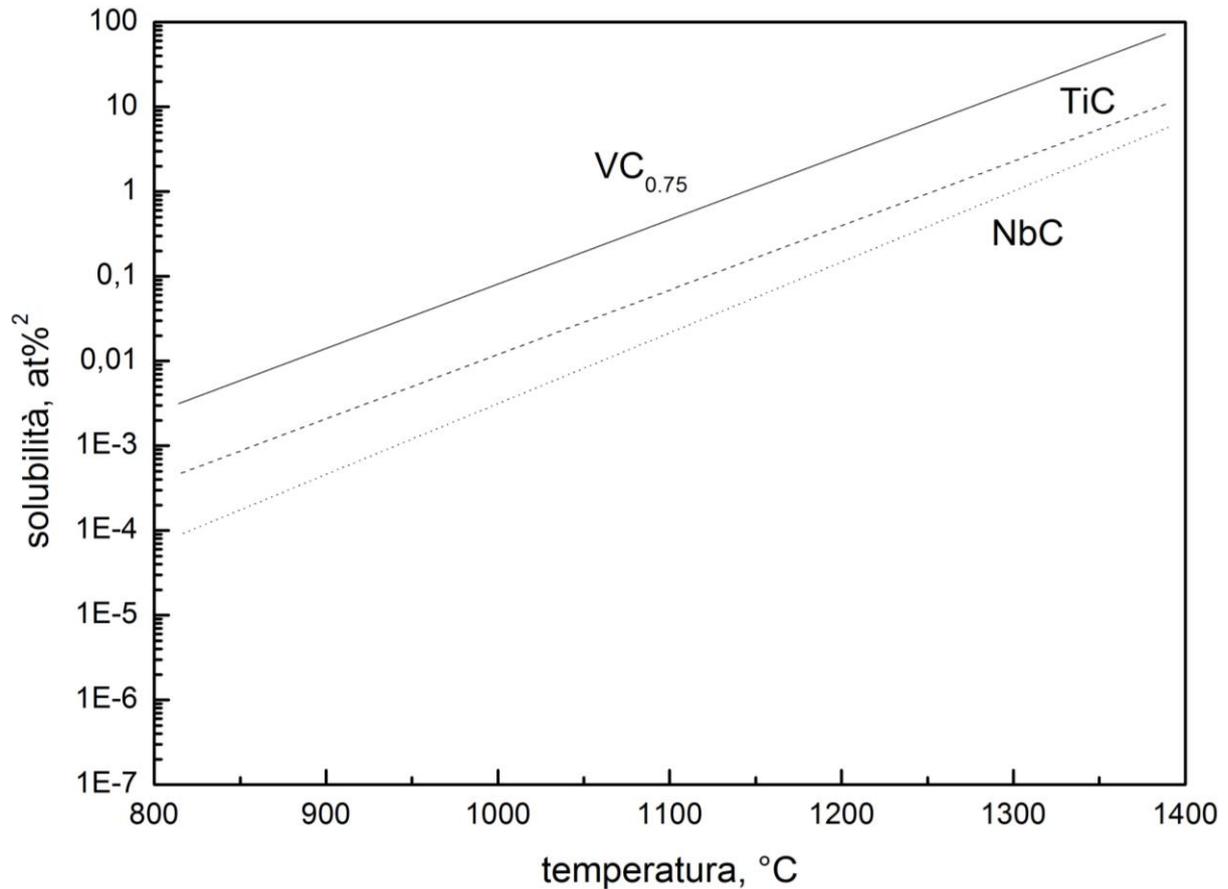


Figura 10.18: formazione dei carburi

Quindi se vi è abbastanza carbonio nella lega, si formano i corrispondenti carburi; se la concentrazione non è sufficiente gli elementi di lega andranno in soluzione solida nel passaggio austenite-ferrite.

Ora, gli elementi che formano carburi si è visto restringere il campo di esistenza del Fe- γ spostando la temperatura di trasformazione verso minori concentrazioni di carbonio e più alte temperature. Uno dei principali risultati è che in presenza di notevoli quantità di tali elementi la trasformazione perlitica è assente producendo un' struttura completa di ferrite-carburi a temperatura ambiente. La morfologia dei carburi varia a seconda degli elementi e della velocità di variazione della temperatura di trasformazione α - γ . Una schematizzazione di tale comportamento lo riportiamo nella figura 10.19,

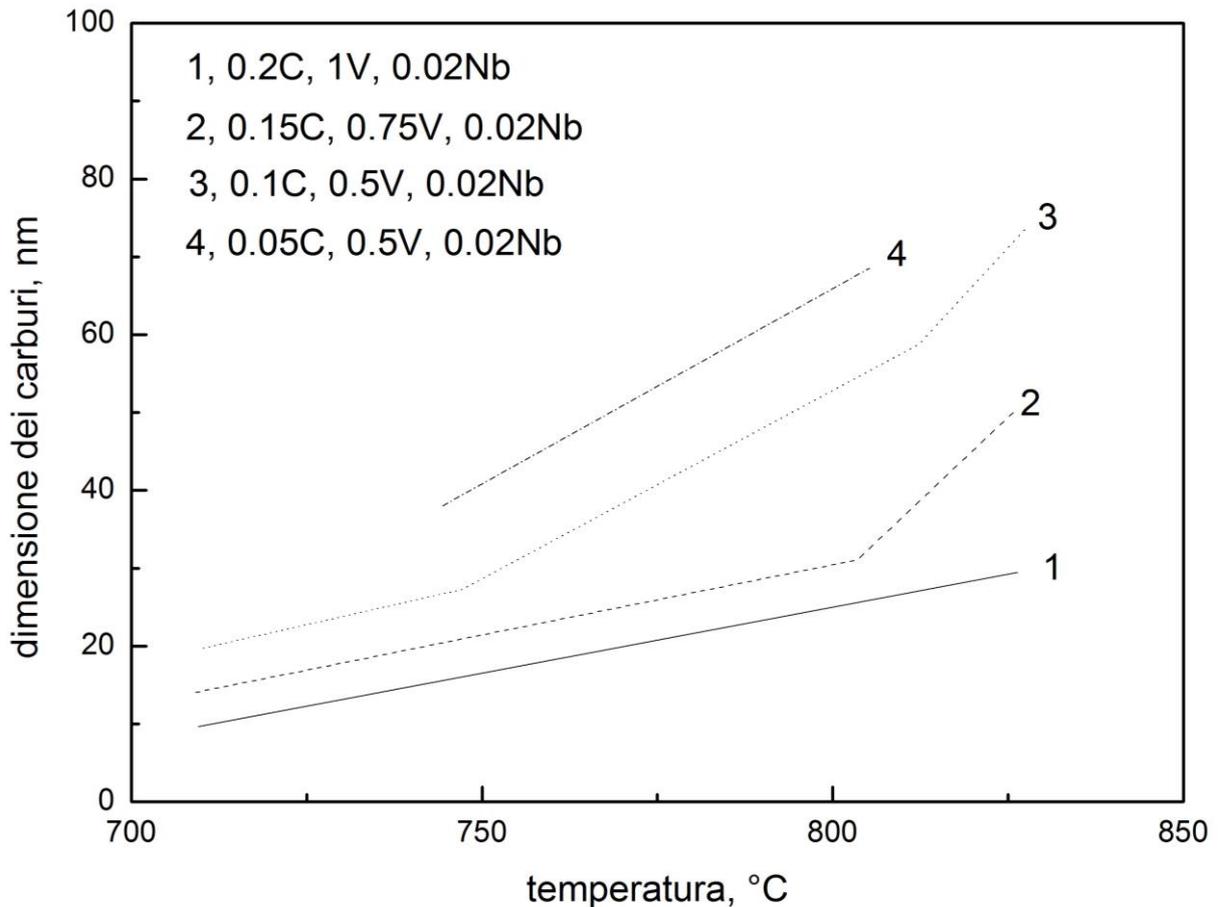


Figura 10.19: dimensione dei carburi per diversi elementi di lega

Effetto degli elementi di lega sull'indurimento: Per molte applicazioni si desidera avere acciai con struttura martensitica a temperatura ambiente.

Negli acciai al carbonio le velocità di raffreddamento per l'ottenimento della martensite sono molto rapide, ciò può portare alla presenza eccessiva di tensioni residue nei pezzi con conseguenti distorsioni,

Aggiungendo opportuni elementi di lega si riesce a diminuire la velocità critica di tempra con diminuzione delle tensioni residue.

Quasi tutti gli elementi di lega, ad eccezione del cobalto causano una diminuzione della velocità critica di tempra migliorando l'indurimento degli acciai.

Gli acciai legati sono classificati negli U.S. sotto il nome di AISI, le ultime due cifre indicano il contenuto di carbonio e le prime due l'elemento o gli elementi alliganti che li caratterizzano:

13XX Acciai al Manganese

40XX acciai al Molibdeno

41XX acciai al Cromo-Molibdeno

43XX acciai al Cromo-Molibdeno-Nichel

51XX acciai al Cromo

Altri elementi vengono poi aggiunti per il miglioramento di ben determinate caratteristiche,

Il V viene aggiunto perché favorisce la formazione di fini carburi indurenti stabili anche alla temperatura di austenitizzazione.

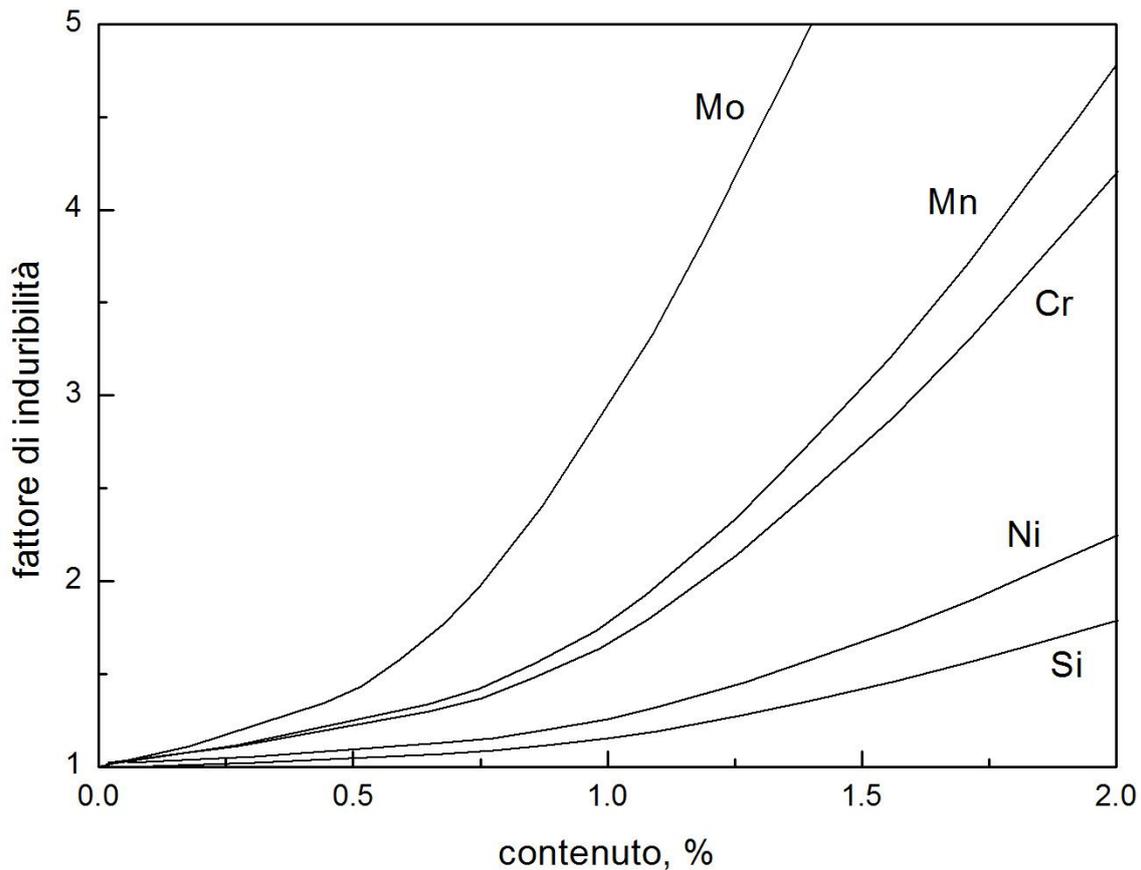


Figura 10.20: effetto sull'induribilità di diversi elementi di lega.

Gli elementi di lega hanno una forte influenza sulla temperatura di austenitizzazione,

-Quando l'acciaio contiene elementi che sono stabilizzanti per la ferrite e tendono a formare carburi la temperatura di austenitizzazione aumenta,

-La presenza di elementi di lega e di carburi rallenta la velocità di omogeneizzazione del materiale per cui il tempo di mantenimento a temperatura di austenitizzazione aumenta,

Considerando la dissoluzione della cementite: quando la fase FCC si inizia a formare a contatto con la cementite, il carbonio inizia a diffondere e i carburi iniziano a dissolversi. Quando i carburi si sono dissolti vi sono nell'acciaio zone di austenite in cui vi è una forte concentrazione di carbonio che deve diffondere nella struttura con aumento del tempo di omogeneizzazione.

Altro effetto hanno gli elementi base dei carburi come tungsteno e molibdeno, quando il loro carburo corrispondente si è dissolto questi elementi devono diffondere uniformemente nel materiale, dal momento che sono elementi ferritizzanti è possibile che localmente la formazione di austenite venga inibita e quindi è richiesta una temperatura di austenitizzazione più elevata.

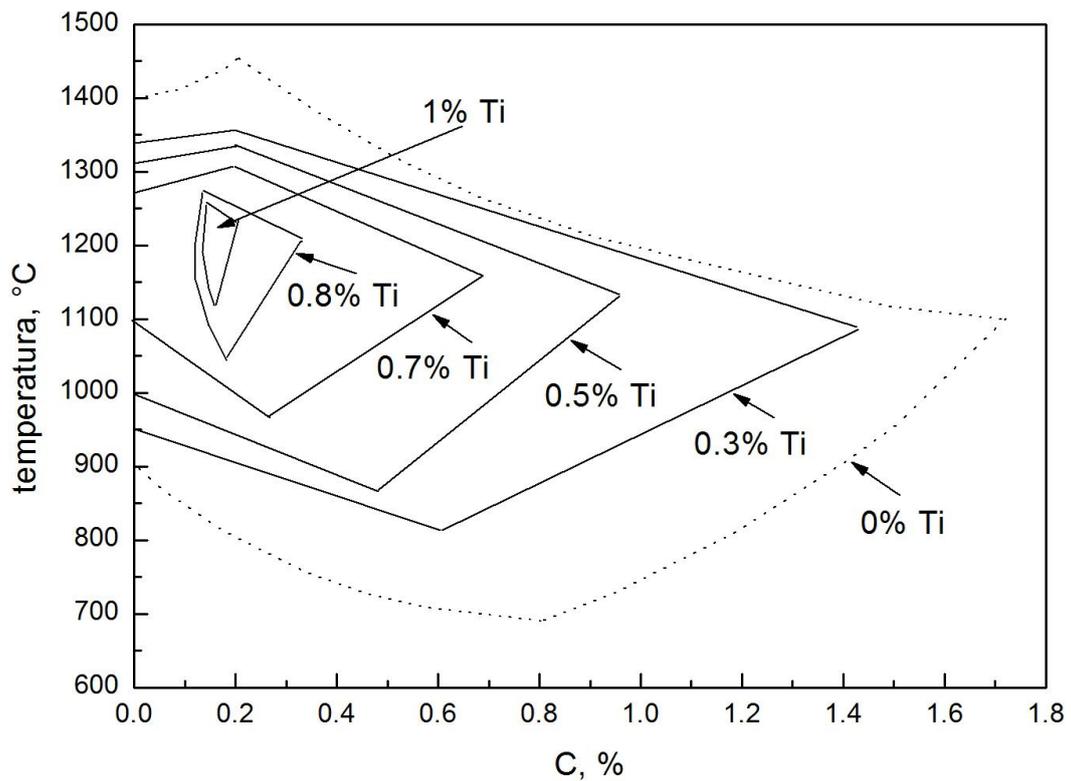
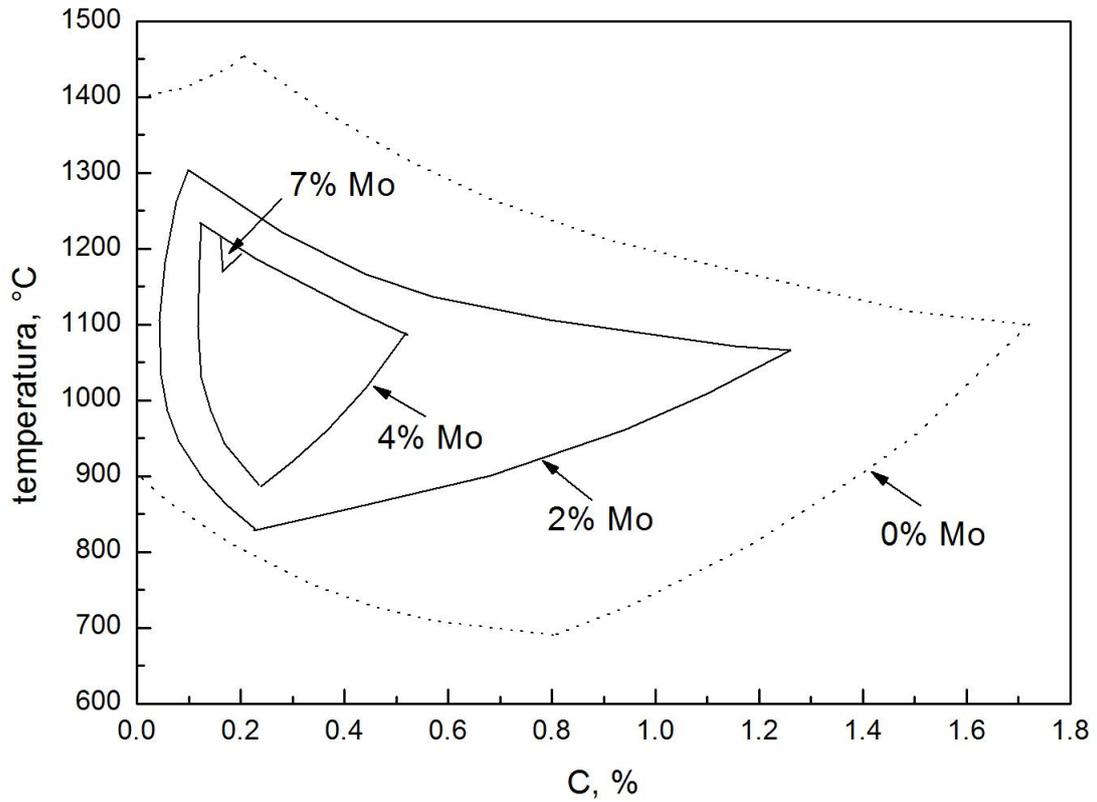


Figura 10.21: campi di esistenza dell'austenite al variare del contenuto di carbonio per differenti tenori di Molibdeno e Titanio.

La presenza del cromo, oltre a diminuire la velocità critica di tempra è quella di formare carburi durante la formazione della martensite che indurisce ulteriormente l'acciaio.

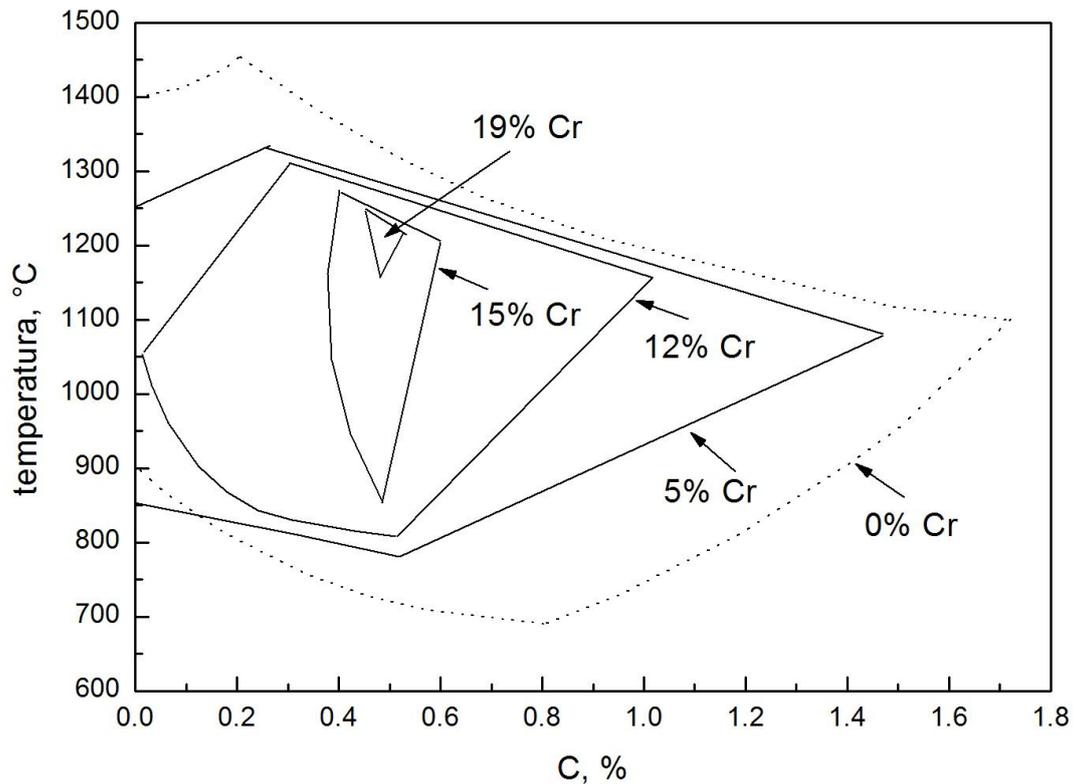


Figura 10.22: campi di esistenza dell'austenite al variare del contenuto di carbonio per differenti tenori di Cromo.

Gli elementi maggiormente presenti negli acciai basso legati per migliorare l'induribilità sono: Cr, Mo, Ni, Mn, B.

Cr e Mo formano anche carburi che contribuiscono ulteriormente all'indurimento. Ritardano inoltre i tempi di tempra permettendo la formazione di carburi stabili durante la formazione della martensite.

Un ruolo importante del manganese è di reagire con lo zolfo per formare MnS in modo da ridurre la formazione di solfuri di ferro che infragiliscono il bordo grano.

Effetto degli elementi di lega sulla temprabilità.

Le reazioni che accompagnano la formazione della martensite sono solitamente: segregazioni di soluto, clustering nei pressi dei difetti, precipitazione da soluzione solida e crescita dei grani.

In genere gli elementi di lega ritardano tali reazioni.

Gli elementi di lega diminuiscono inoltre Ms.

Elementi come il Ni e Mn, fortemente austenitizzanti, hanno un forte potere ritardante della Ms.

Effetto degli elementi di lega

Manganese

Il manganese è solubile nel ferro in tutte le proporzioni.

Diminuisce le temperature di Tempra e Ricottura.

Diminuisce la velocità critica di Tempra.

Diminuisce le deformazioni di tempra.

Aumenta la tenacità.

Aumenta notevolmente la resistenza a trazione.

Migliora le doti di deformabilità a caldo.

Diminuisce la conducibilità termica.

Diminuisce la deformabilità a freddo.

Peggiora le principali proprietà magnetiche ed elettriche.

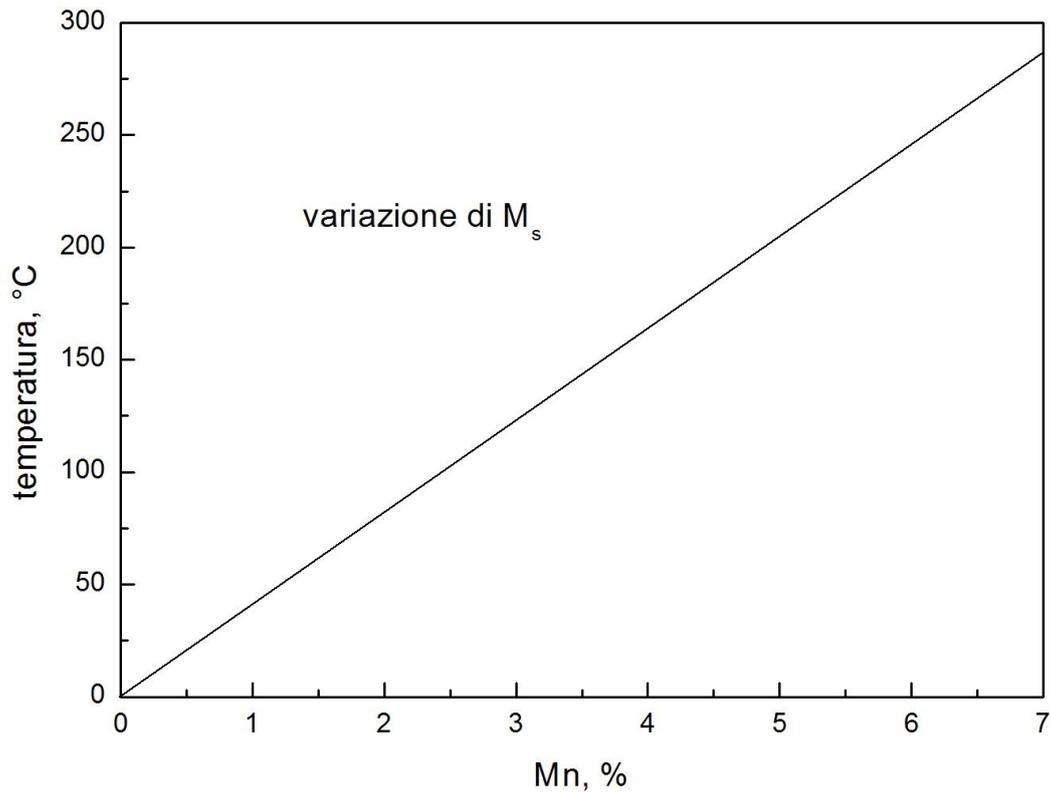


Figura 10.23: variazione di M_s al variare del tenore di Mn.

Cobalto

Aumenta la velocità critica di Tempra.

Per il resto ha gli stessi effetti del nichel.

Rame

Allo stato ricotto migliora tutte le caratteristiche meccaniche del materiale.

Migliora le proprietà di resistenza agli agenti ossidanti.

Migliora le caratteristiche di lavorabilità a freddo e saldabilità.

Azoto

Migliora le caratteristiche di resistenza in trazione, allungamento e strizione.

E' un forte agente stabilizzante per l'austenite (ferro γ).

Ha notevolissima importanza per ciò che riguarda i trattamenti superficiali di nitrurazione. Per identificare le diverse fasi rinforzanti facciamo riferimento al diagramma Fe-N nella figura 10.24,

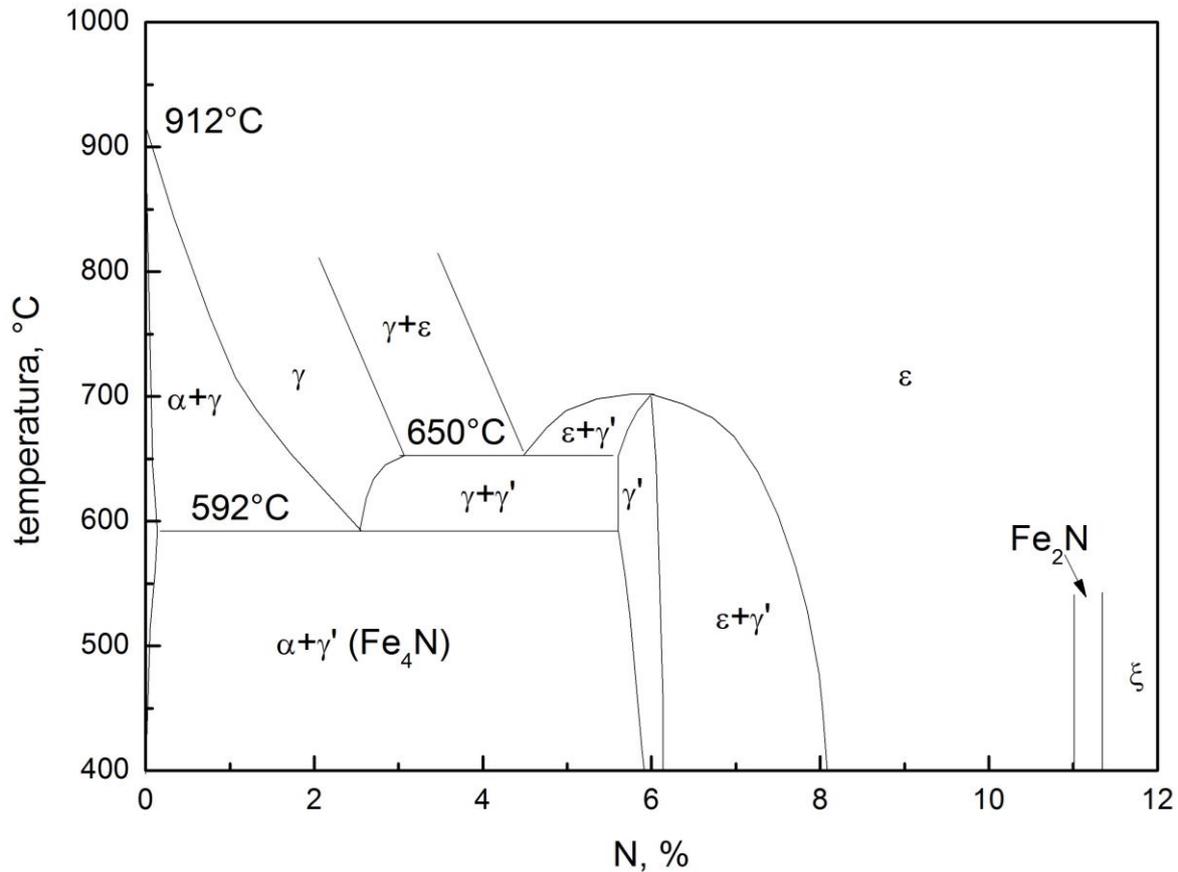


Figura 10.24: diagramma Fe-N

La temperatura alla quale si effettua la nitrurazione è dipendente dall'eutettoide (592°C), l'indurimento durante la nitrurazione è legato alla formazione del composto γ' (Fe_4N) e di differenti nitruri nel caso in cui l'acciaio contenga elementi di lega. Le fasi a maggior contenuto di azoto sono ϵ (4%) e ξ (11.3%) ma meno indurenti.

Alluminio

Ha un forte potere disossidante.

Forma con l'azoto nitruri durissimi.

Conferisce all'acciaio ottime doti di resistenza all'ossidazione a caldo.

Cromo

Forma nell'acciaio carburi molto stabili.

Fa diminuire fortemente la conducibilità termica.

Fa aumentare la resistività.

Nello stato ricotto migliora le caratteristiche di resistenza in trazione.

Migliora le doti di temprabilità degli acciai.

Migliora le proprietà tribologiche.

Molibdeno

Forma carburi molto stabili.

Ha un forte potere austenitizzante.

Aumenta la temprabilità.

Ha un forte potere indurente.

Migliora le caratteristiche meccaniche.

Elimina il pericolo di fragilità da rinvenimento.

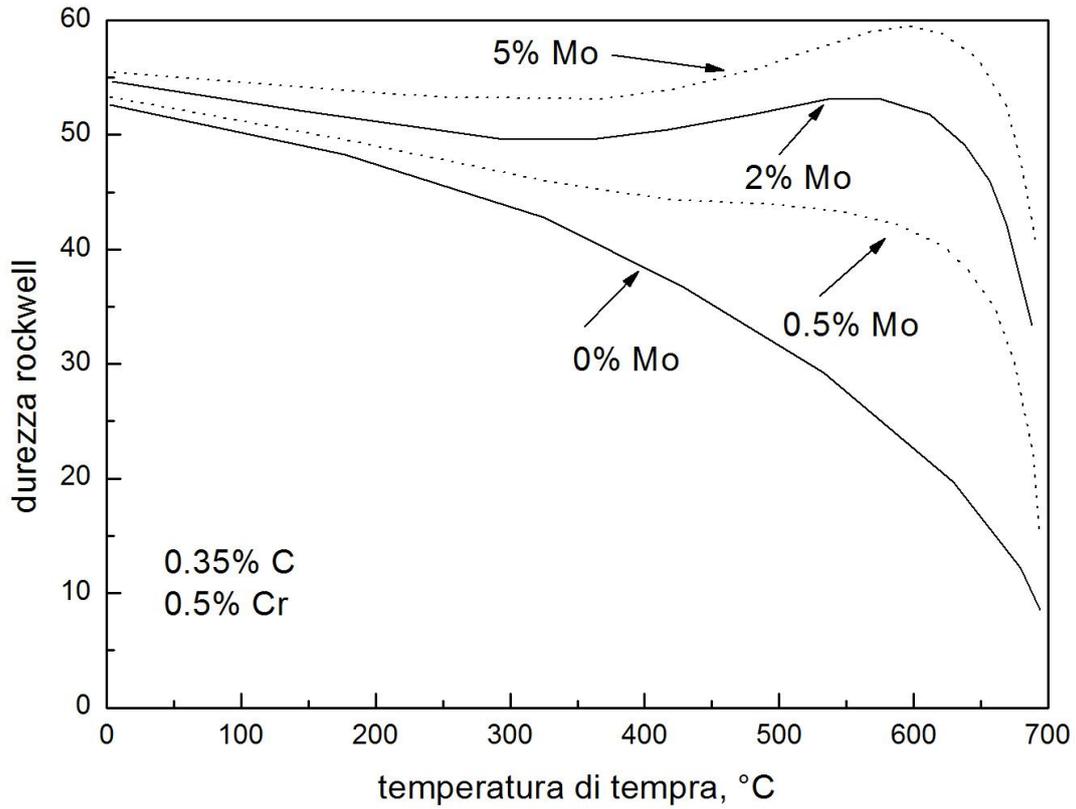


Figura 10.25: variazione della durezza in funzione della temperatura per diversi tenori di Mo.

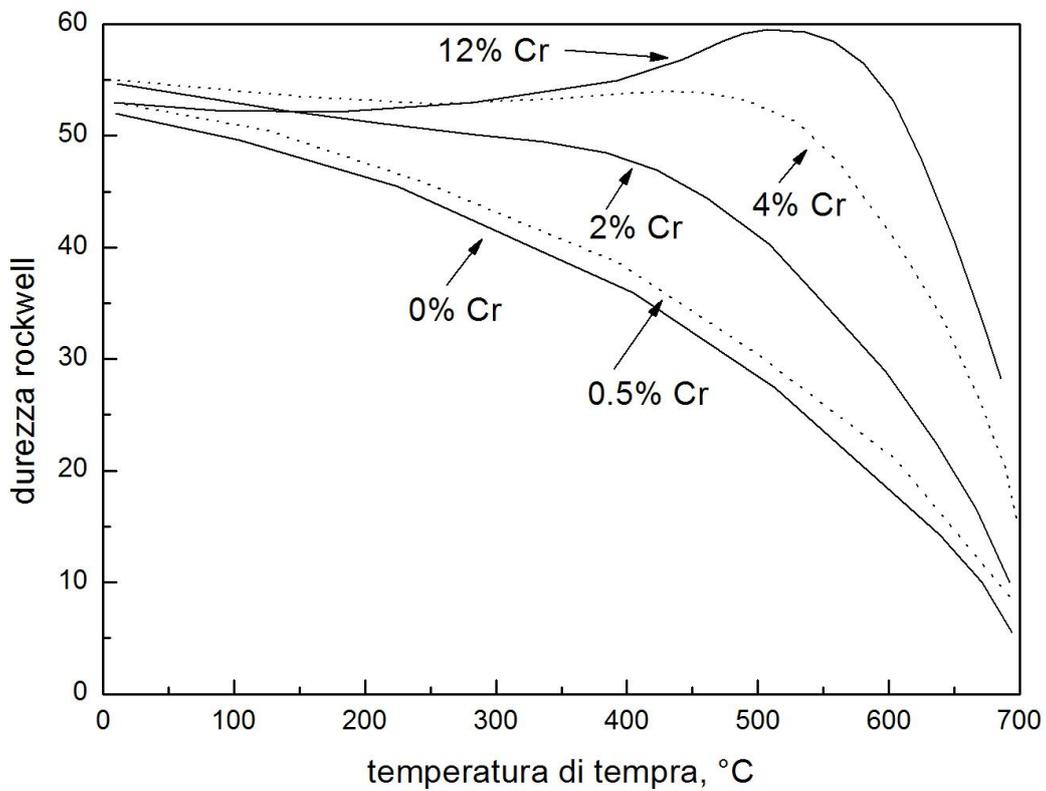


Figura 10.26: variazione della durezza in funzione della temperatura per diversi tenori di Cr.

Silicio

E' di grande utilità durante la fabbricazione degli acciai.

Eleva enormemente le caratteristiche meccaniche.

Aumenta notevolmente la temprabilità.

Migliora le caratteristiche di resistenza agl'acidi e agli agenti corrosivi.

Migliora le doti di resistenza all'ossidazione a caldo.

Peggiora notevolmente le doti di deformabilità a caldo a freddo e la saldabilità.

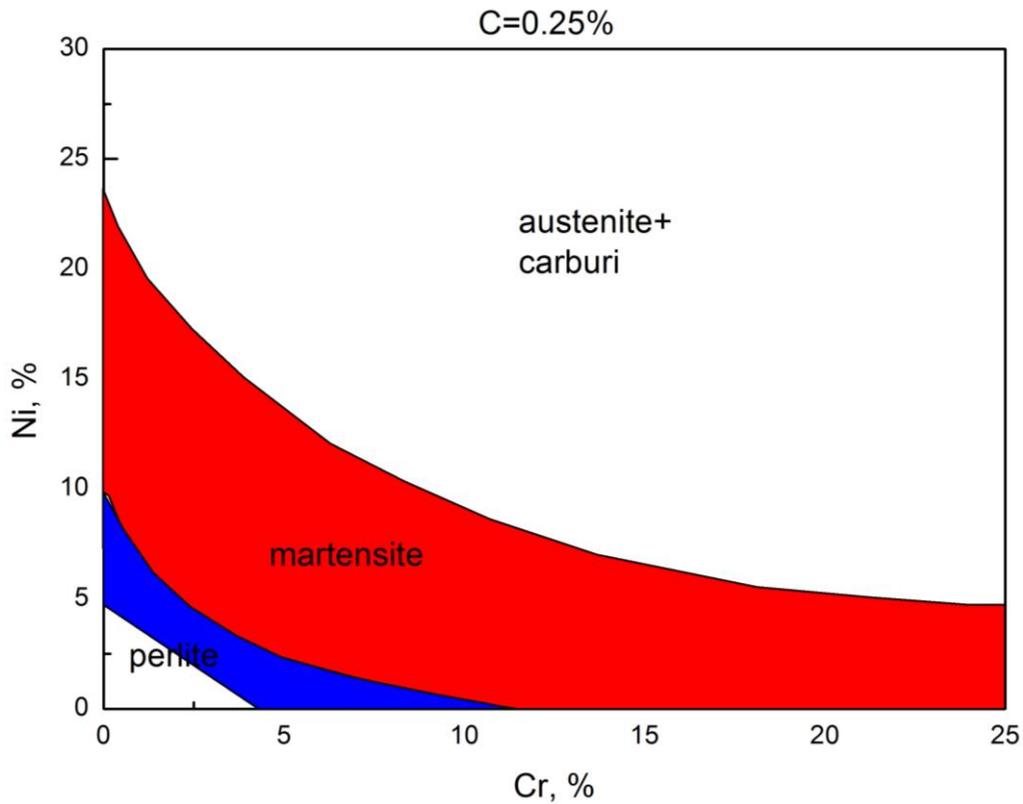


Figura 10.27: formazione di differenti strutture a temperatura ambiente in funzione dei tenori di Ni e Cr.

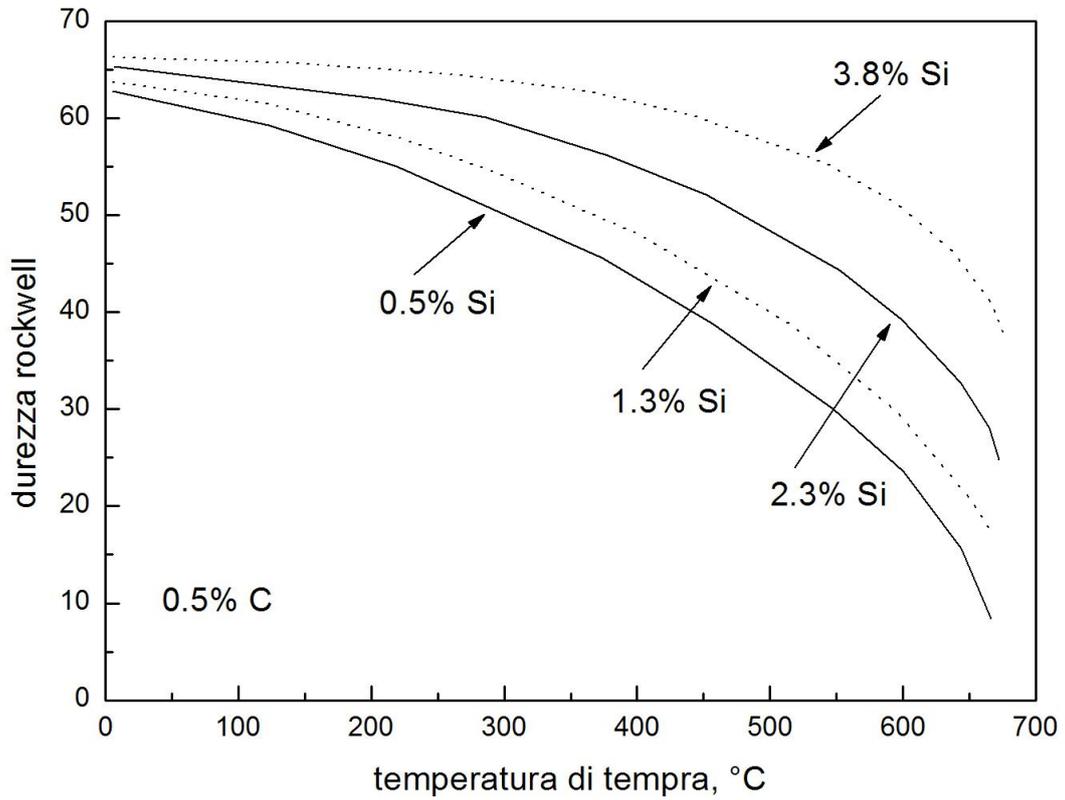


Figura 10.28: variazione della durezza in funzione della temperatura per diversi tenori di Si.

Variazione delle durezza con il variare del tenore di elementi di lega.

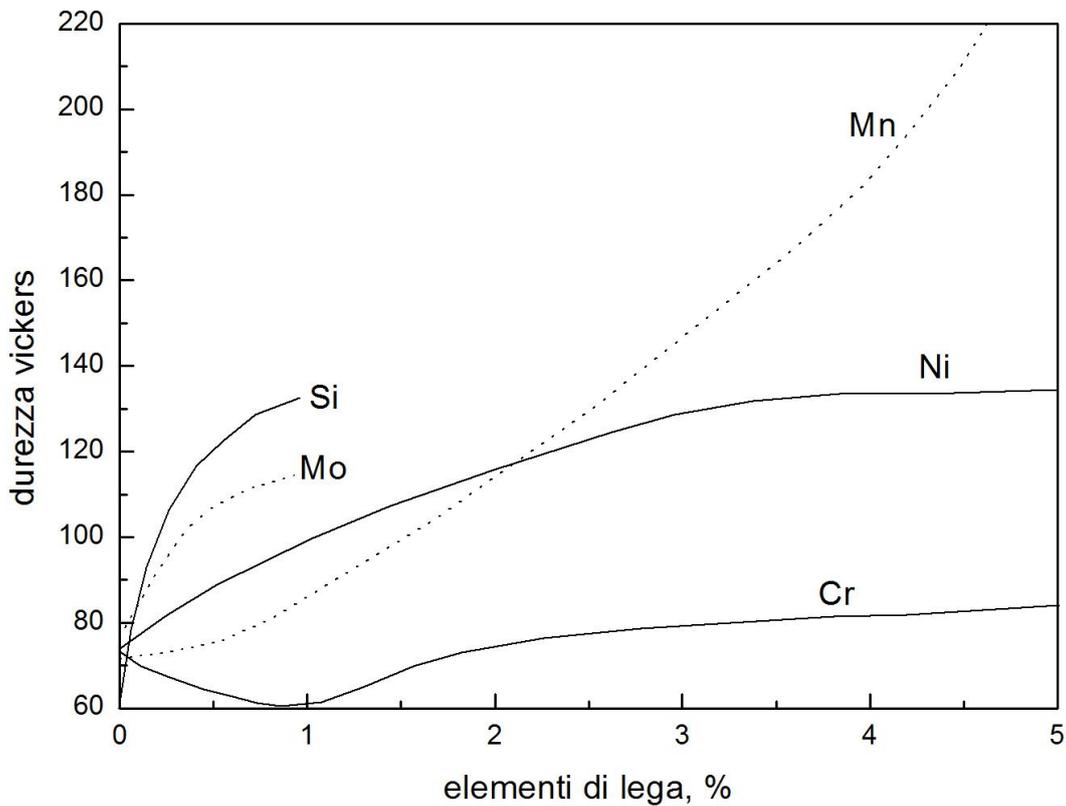


Figura 10.29: variazione della durezza in funzione del tenore di diversi elementi di lega.

Titanio

E' un elemento austenitizzante.

E' utilizzato nella fabbricazione degli acciai induribili per precipitazione (Fe_3Ti).

E' un energico disossidante e deazoturante.

E' l'elemento con la maggior tendenza a formare carburi stabili.

Vanadio

Ha un forte potere disossidante.

Ha un forte potere austenitizzante.

Diminuisce le doti di temprabilità.

Migliora notevolmente le caratteristiche meccaniche in particolare in presenza di sollecitazioni dinamiche.

E' un notevole affinante di grano.

Aumenta la resistenza a caldo.

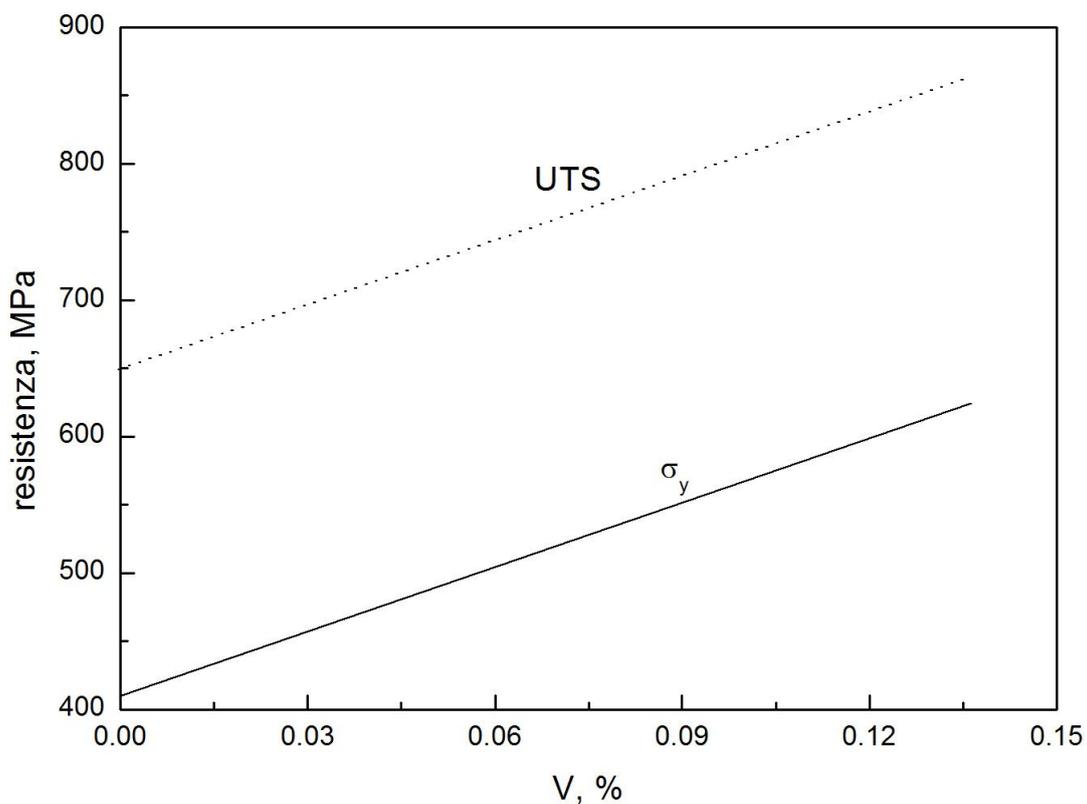


Figura 10.30: variazione della resistenza in funzione di diversi tenori di V.

Tungsteno

Ha un notevole effetto indurente.

Migliora la stabilità a caldo della martensite.

Migliora le caratteristiche meccaniche specialmente a caldo.

Boro

Aumenta la temprabilità.

Aumenta le caratteristiche di plasticità a freddo.

Zolfo

Fa aumentare la fragilità a caldo, crea dei solfuri che precipitano al bordo grano infragilendo il materiale.

Peggiora enormemente le caratteristiche meccaniche a freddo.

Forsforo

Causa gli stessi inconvenienti dello zolfo.

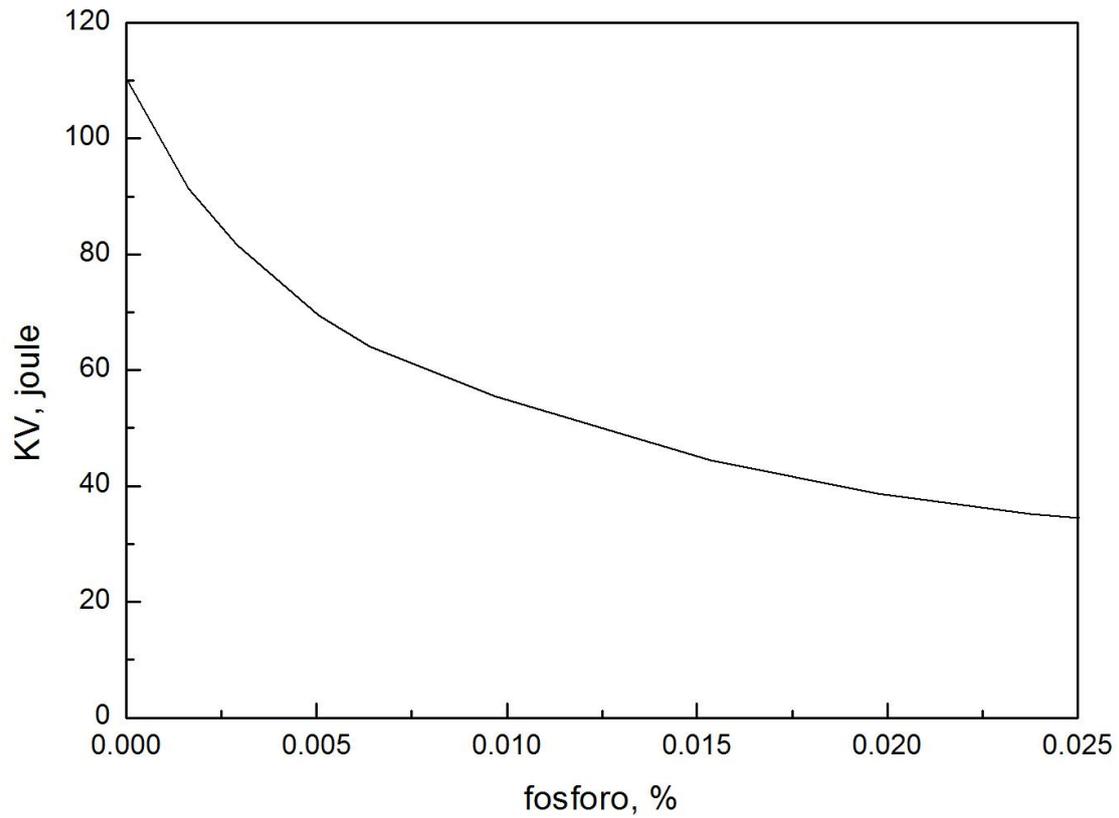


Figura 10.31: diminuzione della resilienza all'aumentare del tenore di P.

Ossigeno

E' l'elemento più dannoso per l'acciaio.

Peggiora le proprietà meccaniche.

Aumenta la sensibilità al surriscaldamento.

Peggiora la lavorabilità a caldo.

Tutto l'ossigeno presente nel metallo lo si ritrova come inclusione non metallica.

L'ossigeno va eliminato durante la produzione, per tale motivo si aggiungono particolari elementi desossidanti per evitare l'inconveniente della sua presenza.

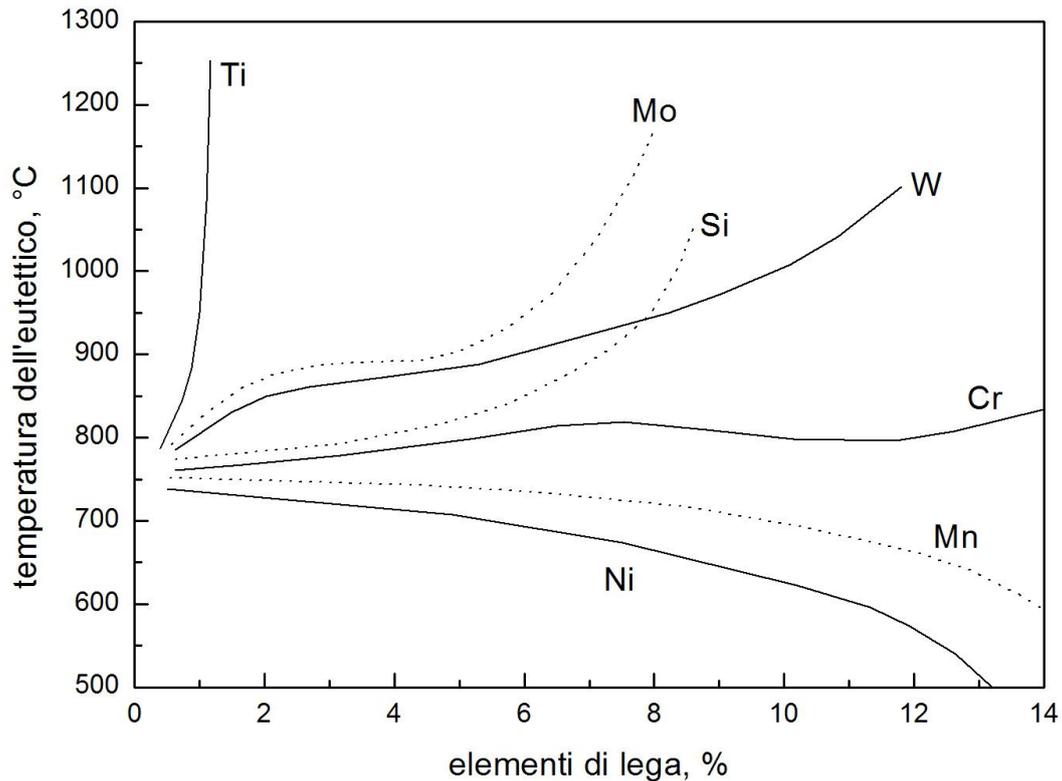


Figura 10.32: variazione della temperatura eutettica al variare del tenore di diversi elementi di lega.

Elemento	Fase stabilizzata	Induribilità	Carburi/nitruri	Indurimento per soluzione solida	Affinante di grano	Altre proprietà
Mn	γ	Ottima		Ottima		Deossidante, desolforante
Al		Media	Nitruri		Media	Deossidante
Si		Media		Ottima		Deossidante
Cr	α	Eccellente	Carburi	Media		Resistenza a corrosione
Ni	γ	Media		Ottima		Acciai maraging
Mo	α	Buona	Carburi			Formazione di bainite
Co		Media				Acciai maraging
W		Media	Carburi			Acciai rapidi
Ti		Media	Nitruri/Carburi		Media	
V		Media	Nitruri/Carburi		Media	
Nb		Media	Nitruri/Carburi		Buona	

Gli acciai al carbonio sono compresi nella designazione AISI 1XXX e contengono elementi di lega quali:

-Mn<1.65%

-Si<0.6%

-Cu<0.6 %

Le proprietà meccaniche sono indicate in tabella (Alloying pag 124.)

Generalmente gli acciai al carbonio sono divisi in 4 gruppi:

-Acciai al Carbonio con $C < 0.3 \%$

-Acciai al Carbonio con $0.3 \% < C < 0.6 \%$

-Acciai al Carbonio con $0.6 \% < C < 1 \%$

-Acciai al Carbonio “free-machinig”

Gli acciai al Carbonio con $C < 0.3 \%$ sono ulteriormente divisi in 2 gruppi.

Quelli appartenenti al gruppo I con $C < 0.15 \%$ e quelli del gruppo II con $0.15 \% < C < 0.3 \%$

Gli acciai del gruppo I sono adatti alla formatura a freddo, hanno valori di resistenza in trazione relativamente bassi (240 MPa), e tale valore aumenta all'aumentare della percentuale di carbonio e all'aumentare dell'incrudimento.

Sono suscettibili di saldatura.

Gli acciai del gruppo II hanno $Mn < 0.75 \%$ e maggior durezza e resistenza ma minore formabilità a freddo.

Sono acciai da carburazione in cui l'induribilità è funzione della presenza di Manganese.

Gli acciai con $0.3 \% < C < 0.6 \%$ sono utilizzati dove richieste proprietà meccaniche migliori rispetto ai precedenti sono induribili per trattamento termico o per incrudimento.

Sono utilizzabili per operazioni di forgiatura.

Hanno buone proprietà di lavorabilità alle macchine utensili.

Gli acciai con $0.6 \% < C < 1 \%$ sono utilizzati dove è richiesta una elevata resistenza meccanica non raggiungibile dai precedenti e in applicazioni richiedenti elevata resistenza all'usura.

Sono acciai da trattamento termico non formabili a freddo.

Gli acciai free-machining sono utilizzabili per essere lavorati alle macchine utensili, contengono uno o più elementi di lega che ne migliorano tale proprietà.

Gli elementi di lega vengono aggiunti ai normali acciai al carbonio per migliorarne le proprietà meccaniche e fisiche in generale vengono utilizzati per:

Migliorare le proprietà di resistenza in trazione,

Migliorare la tenacità,

Migliorare l'induribilità,

Mantenere i livelli di resistenza alle alte temperature,

Migliorare la resistenza agli agenti aggressivi,

Indurre una struttura più fine negli acciai,

Migliorare le proprietà tribologiche.

Carbonio

Il carbonio ha l'effetto di diminuire la temperatura di trasformazione austenite-ferro α (abbassa il punto A3) e di aumentare la temperatura di transizione austenite-ferro δ , quindi espande il campo di esistenza del ferro γ e per ciò è detto stabilizzatore dell'austenite.

E' responsabile della formazione della cementite che nelle sue diverse forme modificabili mediante trattamento termico danno come risultato una enorme varietà di proprietà meccaniche inducibili negli acciai.

Riferendosi ad acciai dalle caratteristiche microstrutturali comparabili, la resistenza aumenta all'aumentare del contenuto di carbonio.

Manganese

E' un elemento austenitizzante abbassano la temperatura di transizione da FCC a BCC fino a temperatura ambiente.

E' un forte deossidante e aumenta fortemente la lavorabilità a caldo degli acciai.

Si lega allo zolfo formando solfuri di manganese migliorando la lavorabilità alle macchine utensili.

Contribuisce all'aumento di resistenza e durezza diminuendo col suo tenore la duttilità e la saldabilità.

E' utilizzato inoltre per migliorare le caratteristiche superficiali degli acciai.

