

Metallurgia Acciai e ghise

Prof. Francesco Iacoviello

Studio: piano terra Facoltà di Ingegneria, stanza 25

Orario di ricevimento: Mercoledì 14.00-16.00

Tel.-fax 07762993681

E-mail: **iacoviello@unicas.it**

Sito didattico: **<http://webuser.unicas.it/iacoviello>**

PERIODIC TABLE

Atomic Properties of the Elements

NIST
National Institute of Standards and Technology
Technology Administration, U.S. Department of Commerce

18
VIIIA

Frequently used fundamental physical constants

For the most accurate values of these and other constants, visit physics.nist.gov/constants
1 second = 9 192 631 770 periods of radiation corresponding to the transition between the two hyperfine levels of the ground state of ^{133}Cs

speed of light in vacuum	c	299 792 458 m s ⁻¹ (exact)
Planck constant	h	6.626 070 15 × 10 ⁻³⁴ J s
elementary charge	e	1.602 176 634 × 10 ⁻¹⁹ C
electron mass	m_e	9.109 383 56 × 10 ⁻³¹ kg
	$m_e c^2$	0.511 MeV
proton mass	m_p	1.672 621 6 × 10 ⁻²⁷ kg
fine-structure constant	α	1/137.036
Rydberg constant	R_∞	10 973 731.7 m ⁻¹
	$R_\infty c$	3.289 842 × 10 ¹⁵ Hz
	$R_\infty h c$	13.605 698 eV
Boltzmann constant	k	1.380 658 × 10 ⁻²³ J K ⁻¹

☐ Solids
☐ Liquids
☐ Gases
☐ Artificially Prepared

Physics
Laboratory
physics.nist.gov

Standard Reference
Data Group
www.nist.gov/srd

Period

Atomic Number	Ground-state Level
Symbol	
Name	
Atomic Weight	
Ground-state Configuration	
Ionization Energy (eV)	

Lanthanides
Actinides

57 La Lanthanum 138.905	58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.907 65	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.925 34	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.930 32	68 Er Erbium 167.259	69 Tm Thulium 168.934 21	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967
89 Ac Actinium (227)	90 Th Thorium 232.038 1	91 Pa Protactinium 231.036 89	92 U Uranium 238.028 91	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (262)

[†]Based upon ^{12}C . () indicates the mass number of the most stable isotope.

For a description of the data, visit physics.nist.gov/data

NIST SP 966 (September 2003)

PERIODIC TABLE

Atomic Properties of the Elements

NIST
National Institute of Standards and Technology
Technology Administration, U.S. Department of Commerce

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Label	IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VII	VIII	IX	X	IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	IIIA
1	H Hydrogen 1.00794																	He Helium 4.002602
2	Li Lithium 6.941	Be Beryllium 9.012182																Ne Neon 20.1797
3	Na Sodium 22.989770	Mg Magnesium 24.3050																Ar Argon 39.948
4	K Potassium 39.0983	Ca Calcium 40.078	Sc Scandium 44.955910	Ti Titanium 47.88	V Vanadium 50.9415	Cr Chromium 51.9961	Mn Manganese 54.93804	Fe Iron 55.845	Co Cobalt 58.933200	Ni Nickel 58.6934	Cu Copper 63.546	Zn Zinc 65.409	Ga Gallium 69.723	Ge Germanium 72.64	As Arsenic 74.92160	Se Selenium 78.96	Br Bromine 79.904	Kr Krypton 83.798
5	Rb Rubidium 85.4678	Sr Strontium 87.62	Y Yttrium 88.90585	Zr Zirconium 91.224	Nb Niobium 92.90638	Mo Molybdenum 95.94	Tc Technetium (98)	Ru Ruthenium 101.07	Rh Rhodium 102.90550	Pd Palladium 106.42	Ag Silver 107.8682	Cd Cadmium 112.411	In Indium 114.818	Sn Tin 118.710	Sb Antimony 121.760	Te Tellurium 127.60	I Iodine 126.90447	Xe Xenon 131.293
6	Cs Cesium 132.90545	Ba Barium 137.327		Hf Hafnium 178.49	Ta Tantalum 180.9479	W Tungsten 183.84	Re Rhenium 186.207	Os Osmium 190.23	Ir Iridium 192.217	Pt Platinum 195.078	Au Gold 196.96655	Hg Mercury 200.59	Tl Thallium 204.383	Pb Lead 207.2	Bi Bismuth 208.98038	Po Polonium (209)	At Astatine (210)	Rn Radon (222)
7	Fr Francium (223)	Ra Radium (226)		Rf Rutherfordium (261)	Db Dubnium (262)	Sg Seaborgium (266)	Bh Bohrium (264)	Hs Hassium (277)	Mt Meitnerium (268)	Uun Ununnilium (281)	Uuu Ununnilium (272)	Uub Ununnilium (285)	Uut Ununnilium (289)	Uuq Ununnilium (292)	Uuh Ununnilium (292)			
			Lanthanides															
			Actinides															
				La Lanthanum 138.905	Ce Cerium 140.116	Pr Praseodymium 140.90765	Nd Neodymium 144.24	Pm Promethium (145)	Sm Samarium 150.36	Eu Europium 151.964	Gd Gadolinium 157.25	Tb Terbium 158.92534	Dy Dysprosium 162.50	Ho Holmium 164.93032	Er Erbium 167.259	Tm Thulium 168.93421	Yb Ytterbium 173.04	Lu Lutetium 174.967
				Ac Actinium (227)	Th Thorium 232.0381	Pa Protactinium 231	U Uranium 238.02891	Np Neptunium (237)	Pu Plutonium (244)	Am Americium (243)	Cm Curium (247)	Bk Berkelium (247)	Cf Californium (251)	Es Einsteinium (252)	Fm Fermium (257)	Md Mendelevium (258)	No Nobelium (259)	Lr Lawrencium (262)

[†]Based upon ¹²C. () indicates the mass number of the most stable isotope.

For a description of the data, visit physics.nist.gov/data

NIST SP 966 (September 2003)

PERIODIC TABLE

Atomic Properties of the Elements

NIST
National Institute of Standards and Technology
Technology Administration, U.S. Department of Commerce

Frequently used fundamental physical constants
For the most accurate values of these and other constants, visit physics.nist.gov/constants
1 second = 9 192 631 770 periods of radiation corresponding to the transition between the two hyperfine levels of the ground state of ^{133}Cs

speed of light in vacuum c 299 792 458 m s $^{-1}$ (exact)
Planck constant h 6.626 070 15 × 10 $^{-34}$ J s ($\hbar = h/2\pi$)
elementary charge e 1.602 2 × 10 $^{-19}$ C
electron mass m_e 9.109 383 56 × 10 $^{-31}$ kg
 $m_e c^2$ 0.511 MeV
proton mass m_p 1.672 6 × 10 $^{-27}$ kg
fine-structure constant α 1/137.036
Rydberg constant R_∞ 10 973 732 m $^{-1}$
 $R_\infty c$ 3.289 842 × 10 15 Hz
 $R_\infty hc$ 13.6057 eV
Boltzmann constant k 1.380 658 × 10 $^{-23}$ J K $^{-1}$

Solids
Liquids
Gases
Artificially Prepared

Physics Laboratory
physics.nist.gov

Standard Reference Data Group
www.nist.gov/srd

Group 1 IA 2 IIA 3 IIIB 4 IVB 5 VB 6 VIB 7 VIIB 8 VIII 9 VIIIB 10 IB 11 IIB 12 IIB 13 IIIA 14 IVA 15 VA 16 VIA 17 VIIA 18 VIIIA

Period 1 2 3 4 5 6 7

Symbol Atomic Number Ground-state Level Name Atomic Weight† Ionization Energy (eV)

Example: 58 Ce 140.116 [Xe]4f5d6s 2 Cerium 5.5387

Lanthanides Actinides

†Based upon ^{12}C . ‡ indicates the mass number of the most stable isotope.

For a description of the data, visit physics.nist.gov/data

NIST SP 966 (September 2003)

Acciai: influenza degli elementi di lega

- **Influenza del Nichel (Ni)**

Ni = 25-28% perdita proprietà magnetiche

Ni = 36-38% massimi e minimi di diverse proprietà

Ni = 78% massimo permeabilità magnetica

Durante l'elaborazione della colata il Ni non prende parte ad alcuna reazione, ma viene aggiunto nella prima parte (bagno effervescente) perché la ferro lega di Ni contiene H.

Il Ni non forma carburi

Il Ni favorisce la grafitizzazione del C

Diminuiscono T ricottura e tempra

Diminuiscono velocità critiche

Aumenta la penetrazione di tempra

Aumenta la tenacità, a parità di R_m

Non peggiora la deformabilità a freddo ed a caldo

- **Influenza del Manganese (Mn)**

E' completamente solubile in tutte le proporzioni.

Ha un comportamento simile al Ni.

Tutti gli acciai contengono un po' di Mn (viene utilizzato come disossidante e desolforante , 0.3-0.4%).

Le strutture martensitiche sono troppo fragili

Caratteristiche positive

Diminuisce T ricottura e tempra

Aumenta penetrazione di tempra

Diminuisce v raffreddamento critica e le deformazioni di tempra

Aumenta la tenacità a parità di R_m

Aumenta R_m (100MPa/1%Mn)

Migliora deformabilità a caldo

Caratteristiche negative

Diminuisce conducibilità termica

Diminuisce deformabilità a freddo

Aumenta la sensibilità al surriscaldamento

Diminuisce la lavorabilità per acciai austenitici

Inconvenienti nella cementazione

- **Influenza del Cobalto (Co)**

Non si ossida e può essere aggiunto alla colata in qualsiasi momento

Aumenta la velocità critica (diminuisce la penetrazione di tempra)

Favorisce la grafitizzazione

Rende più stabile la martensite

- **Influenza del Rame (Cu)**

Può essere aggiunto in qualunque momento

Migliora le caratteristiche a caldo

Fino allo 0.25÷0.30% migliora la resistenza alla corrosione atmosferica

- **Influenza dell'Azoto (N)**

Aumenta leggermente R_m , A%, Z%

Stabilizza austenite

- **Influenza dell'Alluminio (Al)**

Ha un energico effetto disossidante

Forma con l'azoto dei nitruri durissimi

Conferisce resistenza all'ossidazione a caldo

Peggiora la saldabilità

- **Influenza del Cromo (Cr)**

Forma carburi stabili

Diminuisce la conducibilità termica

Finchè la struttura è perlitica, R_m aumenta senza diminuzione di A , Z , K

Conferisce stabilità al rinvenimento alla struttura temprata

Aumenta la resistenza alla corrosione ed alla ossidazione

- **Influenza del Titanio (Ti), Tantalio (Ta) e Niobio (Nb)**

Formano composti intermetallici tipo Fe_3Ti , con conseguente indurimento per precipitazione

Ti è un forte disossidante

Formano carburi

- **Influenza del Molibdeno (Mo)**

Appartiene allo stesso gruppo del Cr e forma carburi duri e stabili

Può essere aggiunto in qualsiasi momento

Con il 3% si chiude il campo γ , al 10% si chiude il campo α , oltre si forma Fe_3Mo_2

Aumenta la temprabilità

Ha un ottimo effetto indurente

Aumenta la stabilità della martensite a T elevata

Aumenta il limite di fatica e di scorrimento a caldo

Diminuisce effetto di surriscaldamento

Elimina la fragilità al rinvenimento

- **Influenza del Vanadio (V)**

Simile al Cr, forma carburi

Potente disossidante

Legandosi con il C, diminuisce la temprabilità

Affina il grano

Aumenta la resistenza a caldo

- **Influenza del Tungsteno (W)**

Meno ossidabile del Fe, può essere aggiunto in qualsiasi momento

Aumenta temprabilità

Notevole effetto indurente

Può sostituire (con una % doppia) il Mo

Comporta una limitata conducibilità termica

- **Influenza del Silicio (Si)**

E' sempre presente e si parla di acciai al Si per tenori superiori al 1%

Aumenta R ed HV mentre K, A, Z diminuiscono

Diminuisce la v critica e quindi aumenta la temprabilità

Conferisce resistenza agli acidi ed all'ossidazione a caldo

Riduce la velocità di diffusione del C (quindi effetto negativo sulla cementazione)

Influenza dannosa sulla deformabilità a caldo

Sensibilità al surriscaldamento (ingrossamento del grano)

• Influenza dello Zolfo (S)

A seguito della formazione di un eutettico bassofondente (988°C) a bordo grano, si ha la fragilità a caldo dell'acciaio

Ni, Co, Mo formano solfuri con punti di fusione ancora più bassi

Cr, Zr, Mn formano solfuri a distribuzione puntuale non dannosa con elevate T di fusione. Questi solfuri migliorano la lavorabilità a caldo

Peggiora la resilienza, specialmente con elevato C

Fino allo 0.2% non si hanno peggioramenti evidenti. Si richiede comunque un tenore inferiore allo 0.005 ed anche allo 0.003 per l'elevata tendenza alla segregazione nella parte centrale del lingotto.

Data la miscibilità praticamente nulla, lo zolfo dà luogo ad inclusioni non metalliche che diminuiscono il limite di fatica

- **Influenza del Fosforo (P)**

Simile allo S, per $P\% > 0.2\%$ la resilienza diviene nulla

Il tenore limite è più basso dello 0.2%, in quanto il P si scioglie anche nell'acciaio anche allo stato solido.

Per acciai particolarmente tenaci si arriva a tenori inferiori allo 0.02%

- **Influenza dell'Ossigeno (O)**

Peggiora le proprietà meccaniche

Peggiora le proprietà fisiche

Aumenta la sensibilità al surriscaldamento

Peggiora la lavorabilità a caldo

Dato che la solubilità dell'O nel Fe è praticamente nulla, tutto l'ossigeno contenuto è quello nelle inclusioni non metalliche

- **Influenza dell'Idrogeno (H)**

Fa diminuire A, Z, K

Può far formare i "fiocchi" durante il raffreddamento del pezzo

Designazione alfanumerica (UNI EN 10027 parte 1°)

- Gruppo 1: acciai designati in base al loro impiego ed alle loro caratteristiche meccaniche o fisiche;
- Gruppo 2: acciai designati in base alla loro composizione chimica (suddivisi in quattro sottogruppi).

Gruppo 1

- un simbolo principale, che indica la caratteristica meccanica o fisica oppure l'impiego
- un numero pari alla valore minimo della proprietà meccanica o fisica che deve essere specificata

Gruppo 2

Si suddivide in 4 sottogruppi:

- *Sottogruppo 1* ($\%Mn < 1$)

Lettera C

Tenore C moltiplicato per 100

- *Sottogruppo 2* ($\%Mn > 1$, *tenore complessivo elementi di lega* $< 5\%$)

Tenore C moltiplicato per 100

Simboli chimici elementi caratterizzanti

Tenore elementi caratterizzanti (x fattore)

- *Sottogruppo 3* (*acciai legati, eccetto acciai rapidi, in cui almeno un elemento è* $> 5\%$)

Lettera X

Tenore C moltiplicato 100

Simboli chimici elementi di lega

Tenore elementi di lega

- *Sottogruppo 4* (*acciai rapidi*)

Lettere HS

Tenore dei seguenti elementi: W, Mo, V, Co

Designazione precedente (UNI EU 27)

Gruppo	I. Acciai designati partendo o dalle caratteristiche meccaniche o dall'impiego		II. Acciai designati partendo dalla loro composizione chimica			
Sottogruppo	I.1. Partendo dalle caratteristiche meccaniche	I.2. Partendo dall'impiego	II.1. Non legati		II.2. Legati	
			II.11 Destinati al trattamento termico	II.12 Destinati ad impieghi particolari	II.21 Con ogni elemento < 5%	II.22 Con almeno un elemento ≥ 5%
Simbolo iniziale	Fe	Fe	C (*)	C (*) seguito da una lettera indicante l'impiego	G (*) solo nel caso di getti	X (*) seguito da G nel caso di getti
Cifre o lettere distintive della caratteristica principale	R min garantito o R _s min garantito preceduto da E	Una lettera indicante l'impiego seguita da un numero	Tenore di carbonio X 100			
Lettere indicanti alcuni elementi di lega	Se del caso: simbolo dell'elemento intenzionalmente aggiunto	—	Se del caso: simbolo dell'elemento intenzionalmente aggiunto		Simboli degli elementi di lega che caratterizzano l'acciaio	
Cifre indicanti i tenori di elementi di lega	(**) (***)	—	(***)	(***)	Tenori dei principali elementi di lega × 40 × 100 × ...	Tenori dei principali elementi di lega (***)

Indicazioni complementari:

(*) Se del caso come prefisso una cifra indicante il grado qualitativo dell'acciaio.

(**) Lettera e/o cifra indicante il grado qualitativo.

(***) Eventuali lettere indicanti requisiti particolari.

Si possono considerare 5 grandi categorie di acciai

- acciai da costruzione di uso generale;
- acciai speciali da costruzione;
- acciai da utensili;
- acciai per usi particolari;
- acciai inossidabili.



Si possono considerare 5 grandi categorie di acciai

- acciai da costruzione di uso generale;
- acciai speciali da costruzione; ←
 - da bonifica
 - da nitrurazione
 - da cementazione
 - per molle
 - autotempranti
 - speciali per cuscinetti a rotolamento
 - per funi
 - per particolari applicazioni
 - Maraging
- acciai da utensili; ←
 - per lavorazioni a freddo
 - per lavorazioni a caldo
 - rapidi
- acciai per usi particolari; ←
 - per impieghi a bassa T
 - per impieghi ad elevata T
 - Hadfield
- acciai inossidabili. ←
 - Ferritici
 - Martensitici
 - Austenitici

Acciai da costruzione di uso generale

- Sono posti in opera senza trattamento termico, al massimo, dopo normalizzazione.
- Si richiede unicamente di possedere un certo valore minimo di R_s

Ciò può essere ottenuto mediante:

- Affinamento del grano mediante precipitati fini
- Incrudimento per deformazione plastica a freddo
- Rafforzamento per soluzione solida (Mn, Si)
- Rafforzamento per dispersione di precipitati (in presenza di Nb, Ti, V)
- Presenza di bainite e/o martensite

Per costruzioni saldate, bullonate e chiodate

	$\%C_{max}$	$\%P_{max}$	$\%S_{max}$	$\%N_{max}$
Fe360B	0.19	0.045	0.045	0.009
Fe410D	0.18	0.040	0.040	-
Fe510D	0.20	0.040	0.045	-

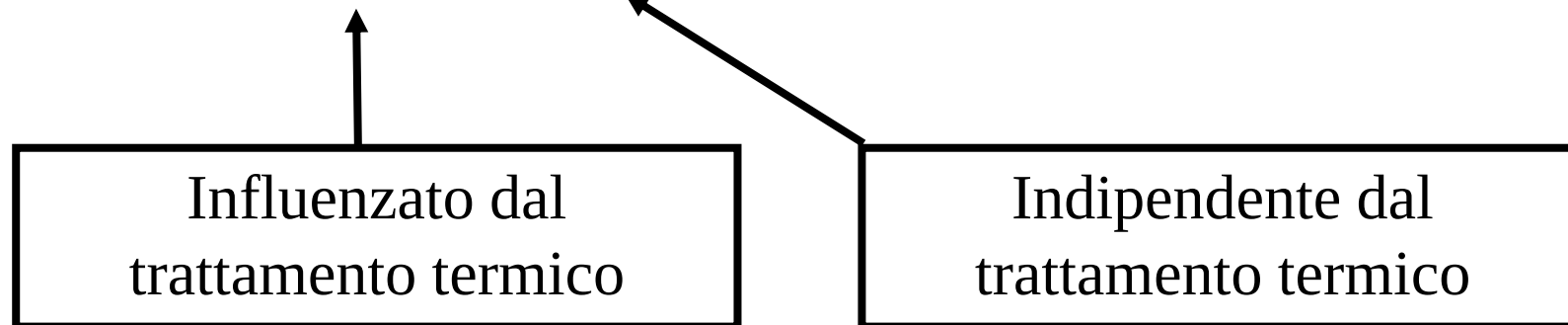
Hanno $R_s < 500$ MPa, bassi valori di R_s/R_m ed $A\% < 26$

Si introducono elementi di lega per aumentare R_s con una buona resilienza ed accettabile resistenza alla corrosione atmosferica.

L'incremento del tenore di C è il modo più semplice per ottenere elevati valori di R_s

Esistono delle relazioni empiriche che permettono di correlare la resistenza meccanica R con la composizione chimica:

$$R = R_{Fe} + \Delta R_C + \Sigma \Delta R_{El}$$



Ad esempio:

$$R = 300 + n \cdot 1000 \%C + 100 (\%Si - 0.30) + 150 (\%Mn - \%C) + 40 \%Ni + 150 \%Cr + 300 \%Mo + 700 \%V + 50 \%Al$$

Con:

n = 1	$T_{rinv} = 600^{\circ}C$
n = 2.3	$T_{rinv} = 450^{\circ}C$
n = 3.8	$T_{rinv} = 200^{\circ}C$
n = 4	$T_{rinv} = 150^{\circ}C$

Altre composizioni chimiche (%S < 0.02; %P < 0.02)

%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	altri	
0.22	1.60	0.50	0.30	0.60	V, Mo	Norm.
0.20	1.00	0.35	0.35	0.65	V, Mo	Bon.
0.12	1.70	0.35	0.30	0.50	Nb, V	HSLA
0.12	0.50	0.70	1.25	0.65	Cu	Corten
0.19	1.25	0.30	0.65	-	V, Cu	Corten

Acciai speciali da costruzione

0.1 < %C < 0.6 aumenta R_m , R_s ma fa diminuire la tenacità

0.2 < %Mn < 0.4 (< 2 molle) aumenta un po' la resistenza

0.2 < %Si < 0.4 (< 2 molle) aumenta R_m ed il rapporto R_s/R_m

%Cr < 3, %Ni < 5 aumentano la resistenza, migliorano la tenacità

0.2 < %Mo < 0.5 elimina il fenomeno della fragilità al rinvenimento (importante negli acciai da nitrurazione), aumenta R_m

%V < 0.2 migliora notevolmente R_m , R_s ha un forte effetto di affinamento del grano

%Al < 1 negli accia da nitrurazione

B < 0.1 aumenta la temprabilità

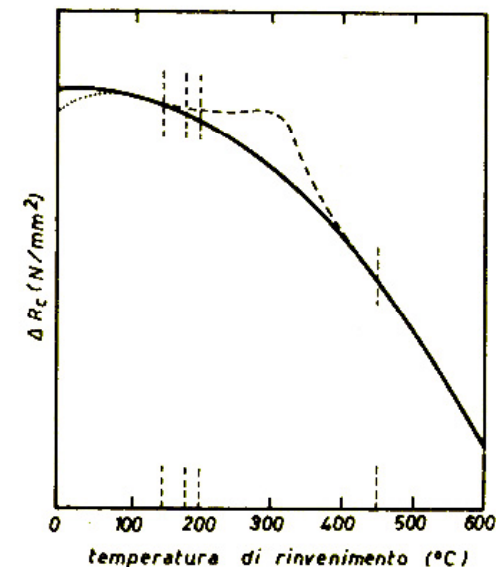
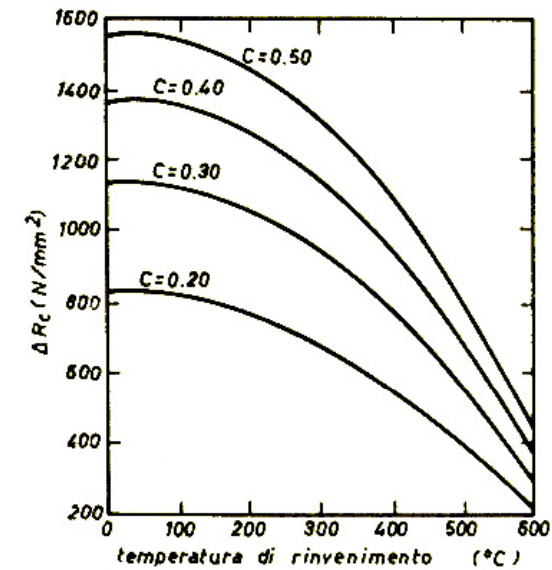
W utilizzato nel passato negli acciai da bonifica al posto del Mo

Pb completamente insolubile, aumenta la lavorabilità

Variazione della resistenza meccanica, per gli acciai speciali da costruzione, al variare di T_{rinv}

Si possono considerare in questo gruppo:

- acciai da bonifica
- acciai da nitrurazione
- acciai da cementazione
- acciai per molle
- acciai autotempranti
- acciai speciali per cuscinetti a rotolamento
- acciai per funi
- acciai per particolari applicazioni
- acciai maraging



Acciai da bonifica

Sono adatti a sopportare sforzi, urti e vibrazioni.

I valori massimi degli elementi di lega sono:

$$0,2 < \%C < 0,6$$

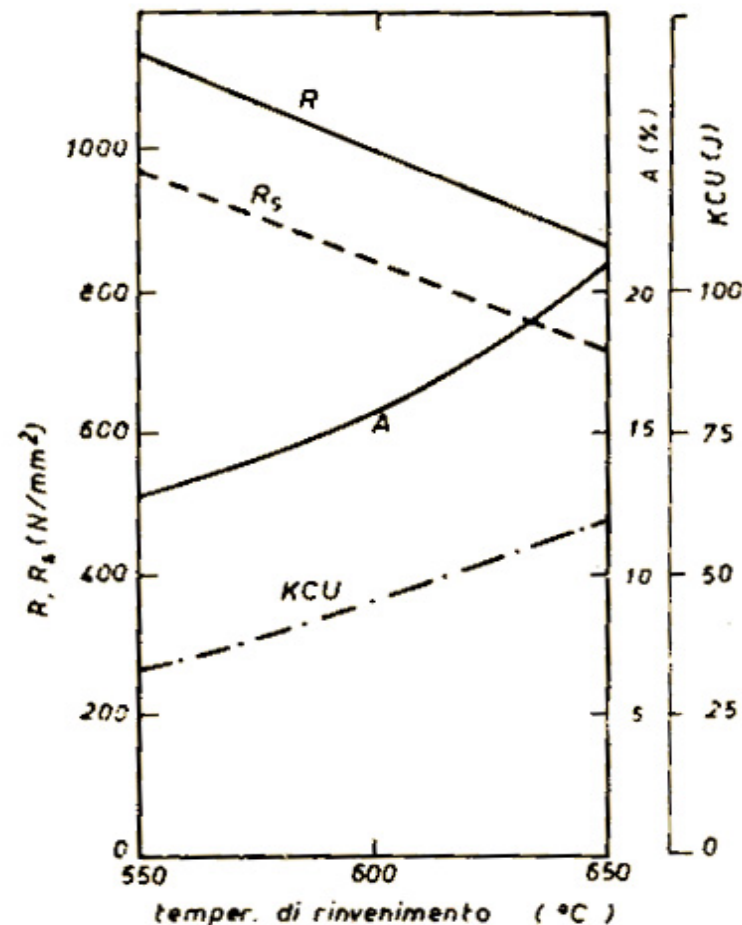
$$\%Mn < 1,65$$

$$\%Ni < 4,2$$

$$\%Cr < 2,2$$

$$\%Mo < 0,6$$

$$\%V < 0,35$$



Alcuni acciai da bonifica:

	%C	%Mn	%Cr	%Ni	%Mo
C25	0.25	0.60	-----	-----	-----
C60	0.60	0.75	-----	-----	-----
41Cr4	0.40	0.65	1.00	-----	-----
36CrMn5	0.35	1.00	1.15	-----	-----
35CrMo4	0.35	0.75	1.00	-----	0.20
39NiCrMo3	0.39	0.65	0.85	0.85	0.20
30NiCrMo12	0.31	0.65	0.80	2.90	0.45

Proprietà meccaniche (valori minimi di R_m ed R_s [MPa] e di A% e K [J])

	R_m	R_s	A%	K
C25	625	360	19	37.5
C60	905	590	11	-----
41Cr4	1030	735	11	25
36CrMn5	980	685	12	25
35CrMo4	1030	735	11	30
39NiCrMo3	1080	785	11	30
30NiCrMo12	1080	785	14	40

Acciai da nitrurazione

Dopo bonifica, sono sottoposti al trattamento di nitrurazione (50 ore a 525°C).

Il Mo viene aggiunto per evitare il problema della fragilità al rinvenimento

%C<0,5

%Al<1

%Cr<1,7

%Mo<0,3

	%C	%Cr	%Mo	%Al
31CrMo12	0.31	3.00	0.35	-----
41CrAlMo7	0.41	1.65	0.32	1.00
	%Mn $\leq$ 0.6	%Si<0.40	%S<0.035	%P<0.030

	R_m	R_s	A%	KCU
31CrMo12	1080	880	10	324.5
41CrAlMo7	930	730	12	22.5

Acciai da cementazione

Sono sottoposti al trattamento termochimico, seguito da una tempra ed un rinvenimento a 150°C.

Il tenore di C è basso sia per avere una buona cementazione, che per avere una elevata tenacità nel cuore

$$\%C < 0.2$$

$$\%Mn < 2$$

$$\%Ni < 5$$

$$\%Cr < 2$$

$$\%Mo < 0.5$$

	C	Mn	Cr	Ni	Mo
C10	0.1	0.50	-	-	-
C15	0.15	0.50	-	-	-
16MnCr5	0.16	1.15	-	-	-
18CrMo4	0.18	0.75	1.0	-	0.20
12NiCr3	0.12	0.45	0.55	0.65	-
16CrNi4	0.16	0.85	0.95	0.95	-
16NiCrMo2	0.16	0.80	0.50	0.55	0.20
16NiCrMo12	0.16	0.55	0.95	2.95	0.35

Acciai per molle

Si distinguono dagli altri acciai per l'elevato valore di R_s , ottenuto agendo sia sulla composizione chimica che sulla temperatura di rinvenimento (400-450°C invece di 600°C).

Nel caso degli acciai non legati si utilizzano tenori di C piuttosto elevati, mentre nel caso degli acciai legati il tenore di C è inferiore, con valori più elevati di Si e Mn. (<2%)

	%C	%Mn	%Si	%Cr	R_s [MPa]
C55	0.55	0.75	0.30	-----	610
C100	1.00	0.50	0.30	-----	690
48Si7	0.47	0.65	1.75	-----	1110
52SiCrNi5	0.52	0.80	1.35	0.85	1220

quest'ultimo con Ni=0.6 e Mo=0.2

Acciai autotempranti

Sono quegli acciai che prendono tempra dopo un semplice raffreddamento all'aria. Essi vengono rinvenuti a 200°C. Si ottengono in tale modo delle resistenze elevatissime (2000MPa) con una tenacità soddisfacente.

$$\%C + \%Ni + \%Cr = 5-7$$

$$0,3 < \%C < 0,5 \quad 3 < \%Ni < 6 \quad 1 < \%Cr < 2$$

Dopo ricottura, tali acciai hanno struttura perlitica.

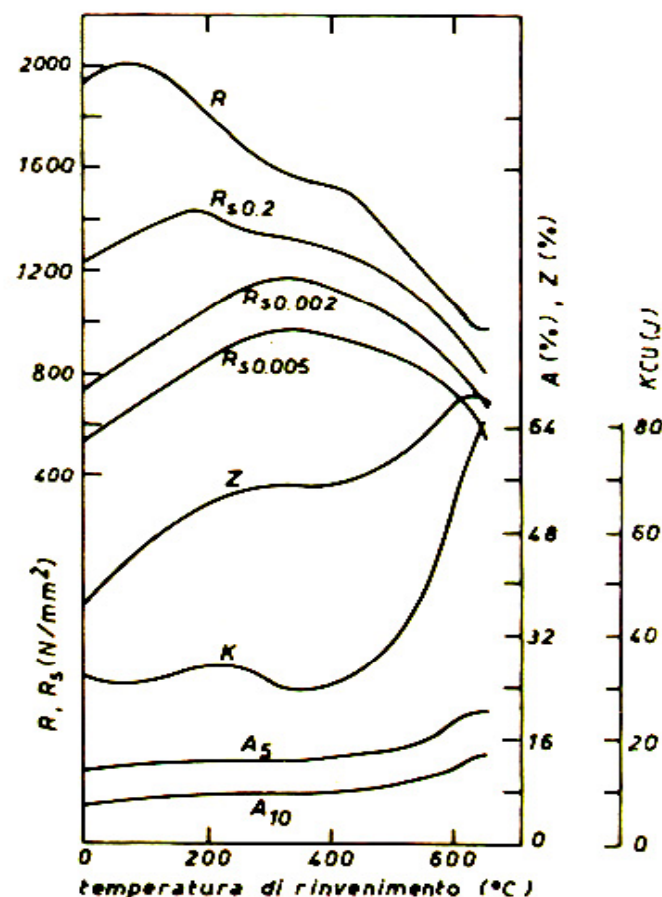
Esempio: 34NiCrMo16

$\%C = 0.34$; $\%Mn = 0.45$;

$\%Si = 0.30$; $\%Cr = 1.80$;

$\%Ni = 3.95$; $\%Mo = 0.35$

Evoluzione proprietà meccaniche
34NiCrMo16 con la T di
rinvenimento



Acciai speciali per cuscinetti da rotolamento

Si impiegano acciai ipereutettoidici che, dopo trattamento di ricottura, assumono struttura globulare che coincide con la massima lavorabilità e predispone l'acciaio alla tempra.

$\%S < 0.03$; $\%P < 0.03$; $\%S + \%P < 0.05$

	%C	%Mn	%Cr	%Ni	%Si	%Mo
100Cr6	0.95-1.10	0.25-0.45	1.40-1.60	----	0.15-0.35	-----
17NiCr	0.14-0.20	0.60-0.90	0.8-1.1	1.2-1.5	0.15-0.40	0.15-0.25
X105CrMo17	0.95-1.20	<1.00	16-18	<0.5	1.00	0.35-0.75

Acciai per funi

Il prodotto è caratterizzato da una elevata resistenza a trazione, resistenza alla torsione, resistenza piegamento, tenacità.

Tali caratteristiche sono ottenute con una scelta ottimale della composizione chimica (%C), della deformazione plastica (grado di incrudimento), del trattamento termico (patentamento)

Normalmente $0.2 < \%C < 0.9$.

Si parte da una struttura perlitica fine, tenore di inclusioni non metalliche molto ridotto, limitata segregazione ed assenza di decarburazione superficiale.

Si deve trafilare con una riduzione di sezione fino al 90-95% senza trattamento termico intermedio.

Si possono ottenere $R_m = 1770 \text{ MPa}$.

Esempio:

$S < 0.03\%$; $0.15 < \%Si < 0.35$; $0.4 < \%Mn < 0.85$

Acciai speciali da costruzione per particolari applicazioni

Si ricordano gli acciai per lavorazioni ad elevata velocità, con percentuali notevoli di S oppure con un contenuto non trascurabile di Pb

	%C	%Mn	%Si	%S	%P
10S22	0.10	0.70	0.30	0.22	0.05
35SMn10	0.35	1.50	0.25	0.10	0.02
35SMnPb	0.35	1.50	0.25	0.10	0.02

Acciai speciali da costruzione con elevatissime caratteristiche: Acciai maraging

- Non è necessaria la presenza del C, anzi è dannosa ($\%C < 0.03$)
- $\Sigma El < 30\%$
 - $17 < \%Ni < 25$
 - $3 < \%Mo < 5$
 - $7 < \%Co < 9$

in più si hanno Ti ed Al

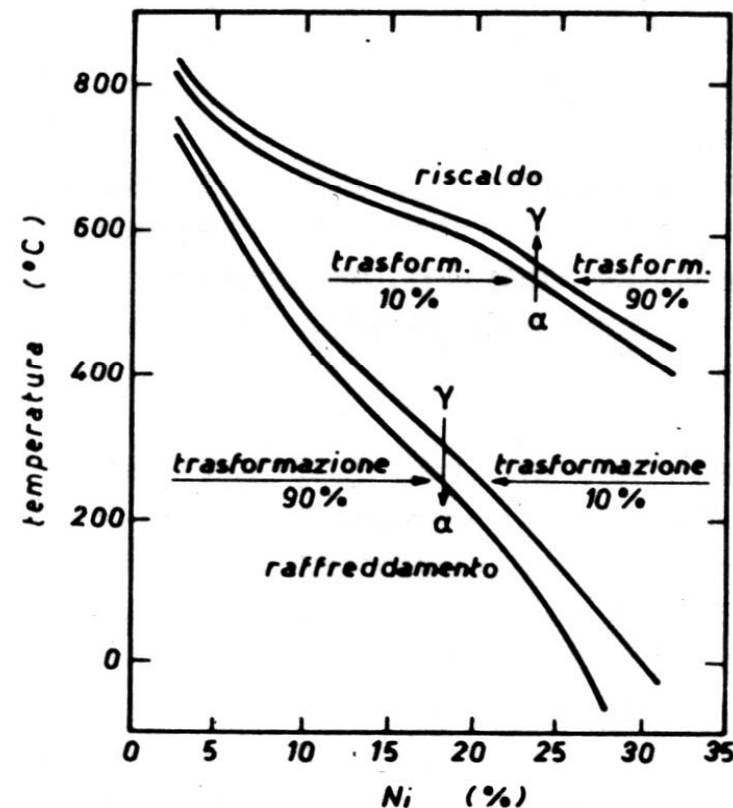
- La trasformazione martensitica avviene anche in condizioni isoterme
- La martensite ha un reticolo CCC
- La durezza $HRC \cong 30$ (invece di 45)
- La tenacità è ottima
- La struttura resta invariata fino a circa $500^{\circ}C$
- Sono sottoposte al processo di invecchiamento della martensite (Martensite Ageing)
- Si ottiene un rapporto R_s/R_m prossimo ad 1

La scelta del tenore del Ni è dettata dalle seguenti considerazioni:

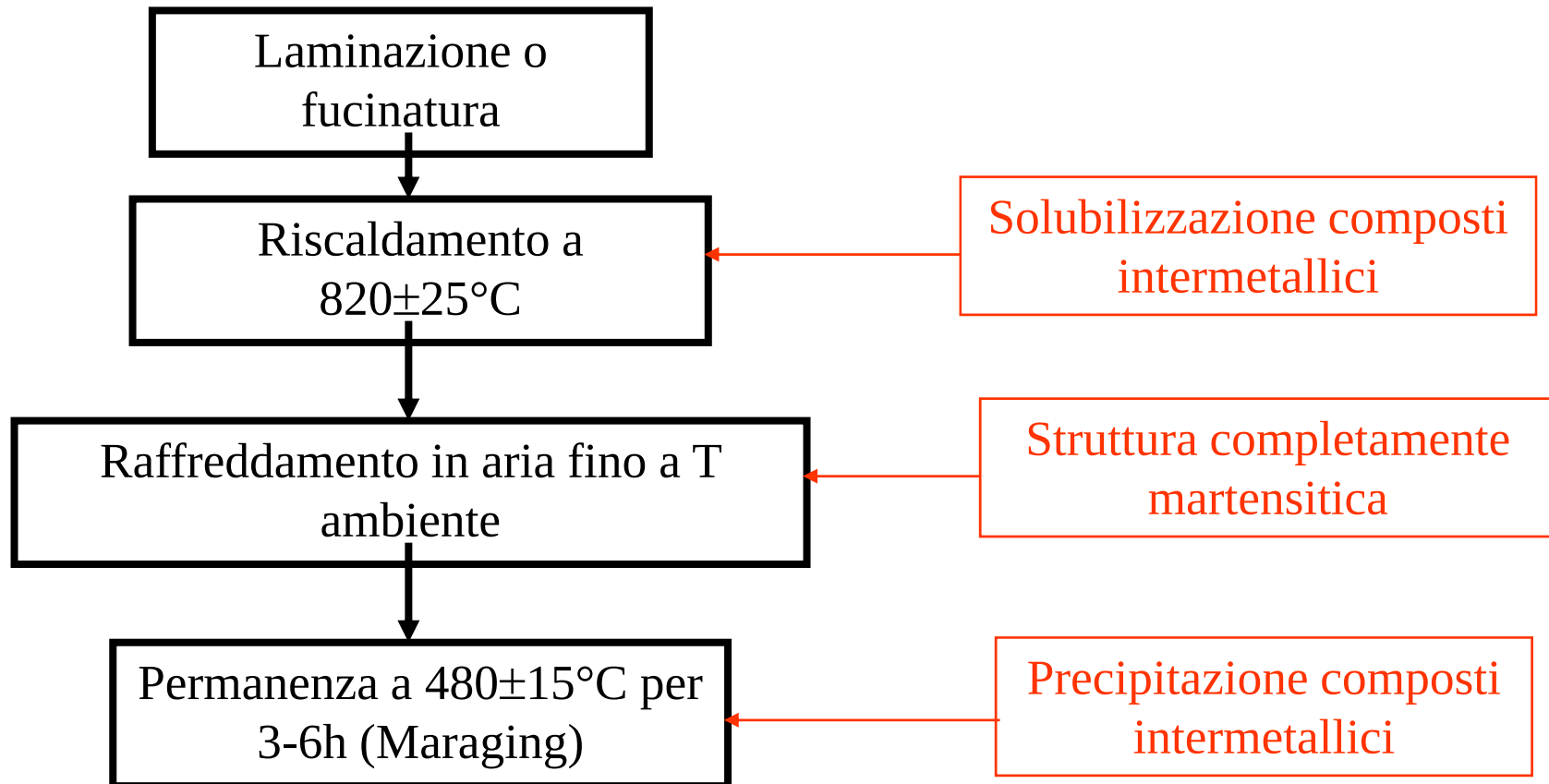
- Se $Ni < 17$, la struttura resta parzialmente ferritica
- Se $Ni > 23$ si ha della austenite residua non trasformata

La presenza del Mo e del Ti aumenta notevolmente l'isteresi della trasformazione α/γ

Si possono ottenere valori di $R_s = 1950 \text{ MPa}$, con $R_m = 2000 \text{ MPa}$



Trattamento termico di Maraging



	%Ni	%Co	%Mo	%Ti	%Al
18Ni200	17-19	8.0-9.0	3.0-3.5	0.15-0.25	0.05-0.15
18Ni300	18-19	8.5-9.5	4.7-5.2	0.50-0.80	0.05-0.15

Acciai per utensili

Le caratteristiche che, da sole o combinate, vengono richieste a questi acciai sono:

- Elevata durezza a caldo ed a freddo
- Elevata capacità di taglio
- Insensibilità all'addolcimento per rinvenimento
- Elevata penetrazione di tempra
- Insensibilità alle spaccature per oscillazioni termiche
- Buona resistenza all'usura

Per ottenere queste proprietà si ricorre a valori elevati del %C ($>0,6$) ed all'aggiunta di W, Mo, V, Cr, Co, Mn, Si

Da ricordare che:

- La temperatura di austenitizzazione $\gg A_{c3}$, in modo da solubilizzare i carburi precedentemente precipitati (rischio ingrossamento grano)
- Durante la tempra i vari elementi di lega modificano fortemente le curve CCT
- Durante il rinvenimento la durezza aumenta notevolmente grazie alla precipitazione dei carburi

Influenza dei vari elementi

C (fra 0.25 e 2%): è sempre presente ed è l'elemento più importante per aumentare la durezza, sia per la formazione di martensite che di carburi.

Mn (<0.5%): Ha azione disossidante e facilita la formazione dei carburi

Si (<0.5%): Ha azione disossidante e aumenta la resistenza all'ossidazione.

Cr (<13%): Aumenta la temprabilità e forma carburi

V (<0.2): Forma carburi

W, Mo (rispettivamente <20 e 10%): Formano carburi ed aumentano la resistenza all'usura ad elevata temperatura

Co (5-20%): Non forma carburi ma aumenta comunque la durezza ad elevata temperatura

Si possono distinguere:

- Acciai per lavorazioni a freddo
- Acciai per lavorazioni a caldo
- Acciai rapidi

Acciai per lavorazioni a freddo

Tali acciai sono caratterizzati da una elevata durezza a freddo ($>55\text{HRC}$) ma da una bassa durezza a caldo. Si possono distinguere gli acciai per utensili al C e gli acciai legati per lavorazione a freddo.

Designazione	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Mo	%Ni	%V	%W
45WCrV8KU	0.45	0.95	0.30	1.05	-	-	0.20	2.00
7CrNiMo8KU	<0.10	0.25	0.35	1.95	0.20	0.50	-	-
C140KU	1.40	<0.30	0.35	-	-	-	-	-

• Acciai per lavorazioni a caldo ($T > 300^\circ\text{C}$)

Sono caratterizzati da una resistenza al rinvenimento, da una insensibilità all'ingrossamento del grano e da una buona conducibilità termica. La loro durezza a temperatura ambiente è compresa fra 40 e 55 HRC e resta ad un buon livello a caldo, grazie alla precipitazione di carburi in forma finemente dispersa.

Designazione	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Mo	%Ni	%V	%W	%Co
55NiCrMoV7KU	0.55	0.25	0.80	0.78	0.40	1.75	0.15	-	-
30CrMoCoV 12 30 12 KU	0.30	0.25	0.45	3.00	3.00	-	0.90	-	3.00
X30WCrV 9 3 KU	0.30	0.25	0.30	2.85	-	-	0.40	8.80	-

- ***Acciai rapidi***

Sono caratterizzati da una durezza molto elevata alla temperatura ambiente ($>60\text{HRC}$) e da una ottima durezza a caldo. Queste proprietà sono ottenute mediante l'aggiunta importante di elementi carburigeni (W, Mo, V) associati al Cr (miglioramento della temprabilità) ed, eventualmente, al Co.

Designazione	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Mo	%V	%W	%Co
X78WV18 1 KU	0.78	<0.50	<0.40	4.00	<1.00	1.05	18.00	<1.00
X82MoWV8 1 1 KU	0.82	<0.50	<0.40	4.00	8.50	1.15	1.70	<1.00
X127CoWMoV10 10 4 3 KU	1.28	<0.50	<0.40	4.00	3.55	3.25	9.75	10.00

Acciai semi rapidi (v. taglio $\cong 15\text{ m/min}$)

$\%C \cong 0.8$; $\%Cr \cong 4$; $\%W \cong 8$; Mo; V

Acciai rapidi (v. taglio $\cong 30\text{ m/min}$)

Non si usa Co; il W è spesso sostituito dal Mo

Acciai super rapidi (v. taglio $\cong 40\text{ m/min}$)

$0.7 < \%C < 1.4$; $Cr \cong 4$; $\%W > 12$; V; Co; Mo

Acciai per usi particolari

Acciai per impieghi a bassa T

- **fino a 0°C** : Acciai al carbonio effervescenti e semicalmati;
- **fino a -20°C** : Acciai al carbonio calmati;
- **fino a -45°C** : Acciai al Mn ($\cong 1\%$) calmati e normalizzati;
- **fino a -80°C** : Acciaio 1.5% Ni normalizzato;
- **fino a -103°C** : Acciaio 3.5% Ni normalizzato e rinvenuto a 620°C;
- **fino a -196°C** : Acciaio 9% Ni sia bonificato che normalizzato e rinvenuto;
- **fino a -269°C** : Acciai inossidabili austenitici.

Acciai per impieghi ad elevata T

Devono resistere allo scorrimento viscoso ed alla ossidazione

- **fino a 450°C** Acciai al C ($\%C < 0.2$, $\%Mn < 1.6$,
0.15 $< \%Si < 0.5$, $\%S$ e $\%P < 0.04$); Acciaio con C (0.16%) e Mo (0.5%)
- **fino a 520°C** Acciaio con Cr (1%) e Mo (0.5%);
- **fino a 600°C** Acciaio con Cr (2.25%) e Mo (1%);
- **fino a 1100°C** Acciai inossidabili ferritici (AISI 446).

Acciai per usi particolari

Acciaio al 13%Mn (acciaio Hadfield) X120Mn12

Amagnetico, estremamente tenace, ha una elevatissima capacità di incrudimento e viene utilizzato quando si prevedono delle sollecitazioni contemporanee di urti ed abrasione. Ha una lavorabilità a freddo nulla.

Per %Mn>12 si ottiene austenite stabile a 20°C. La composizione tipica è:

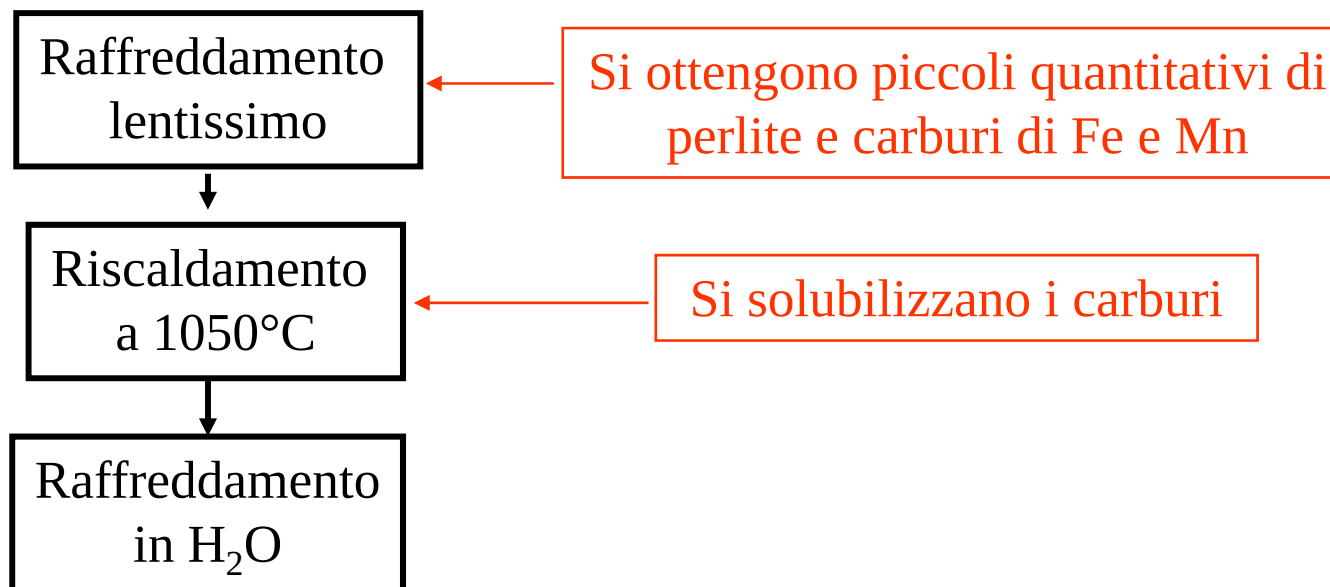
%C=1.1-1.4

%Mn=11-14

%Si<0.7

↑
Aumenta R_s

↑
Stabilizza austenite



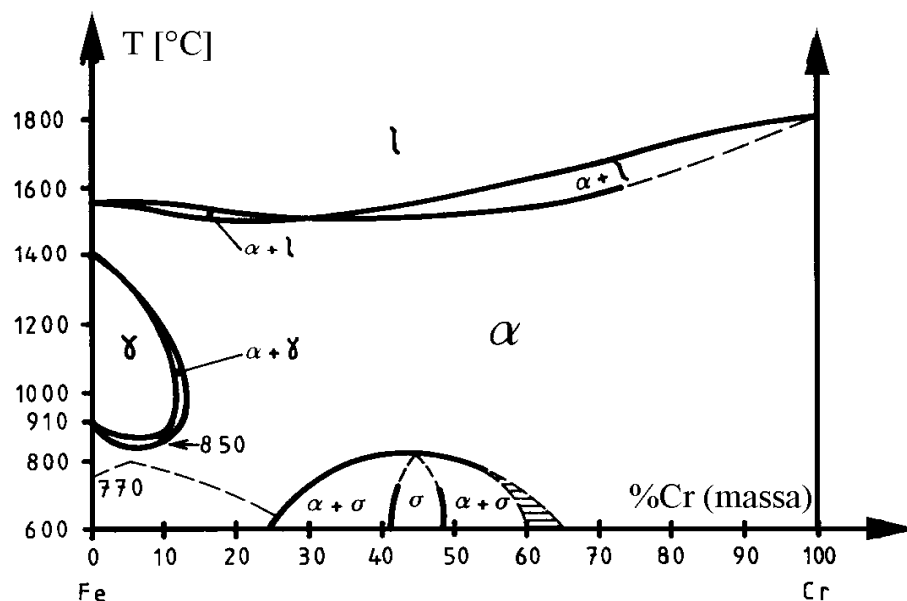
Acciai inossidabili

Sono delle leghe a base di ferro resistenti ad un gran numero di ambienti corrosivi, in un campo esteso di temperatura.

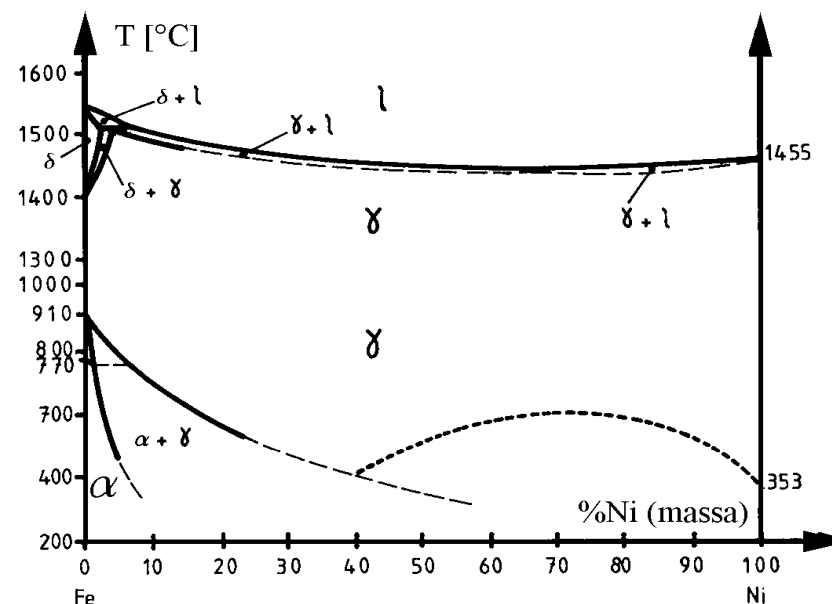
L'elemento indispensabile perché un acciaio sia inossidabile è il Cr che deve essere presente almeno con un tenore minimo del 12%.

Gli elementi di lega hanno una influenza sulla struttura di tipo:

Alfageno (come il Cr)



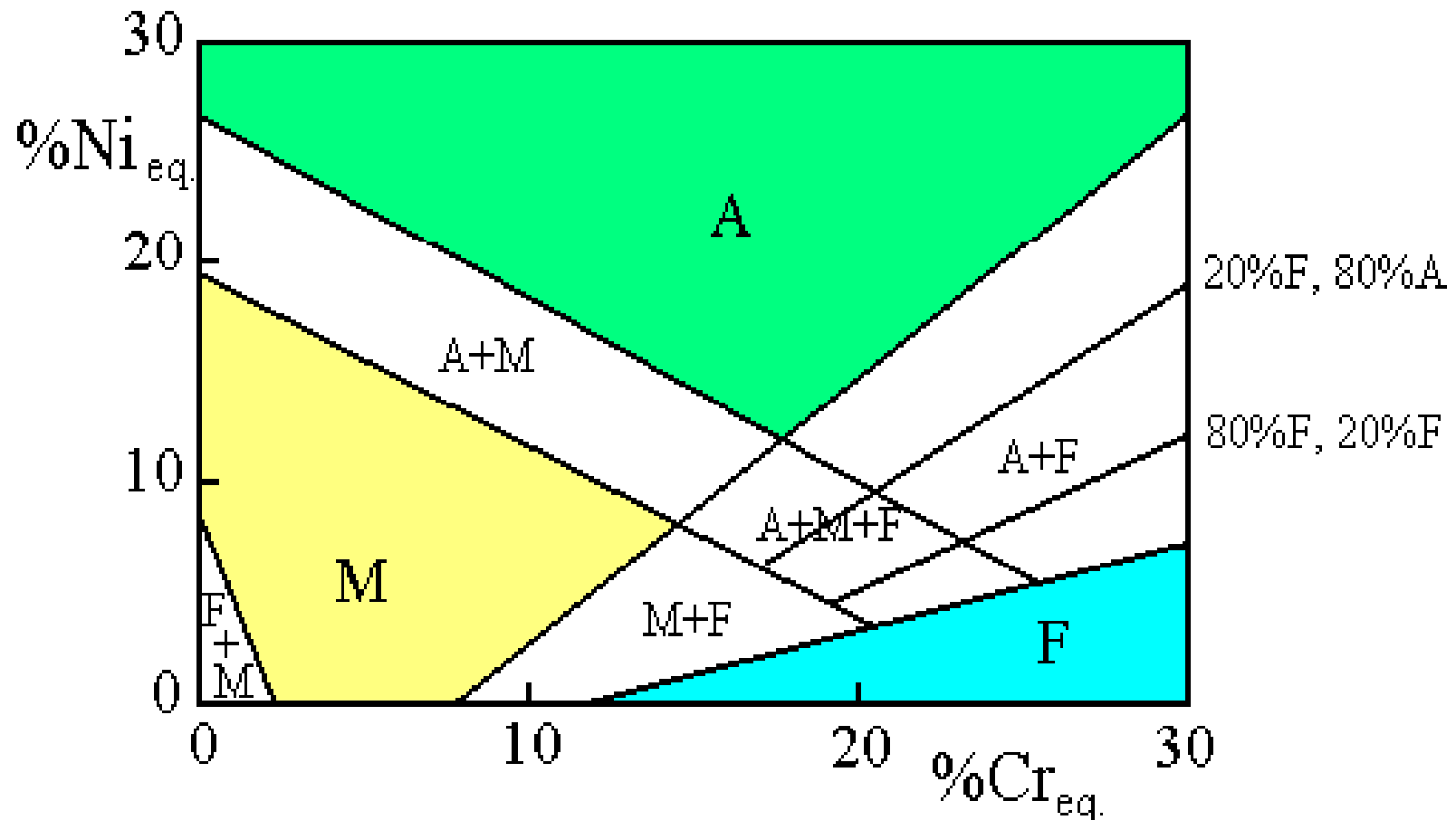
Gammageno (come il Ni)



Si può utilizzare il diagramma di Schaeffler (valido per le leghe dopo solidificazione), che permette di determinare la microstruttura dominante, nota la composizione chimica e la velocità di raffreddamento.

$$Ni_{eq} = \%Ni + 30 \%C + 0.5 \%Mn$$

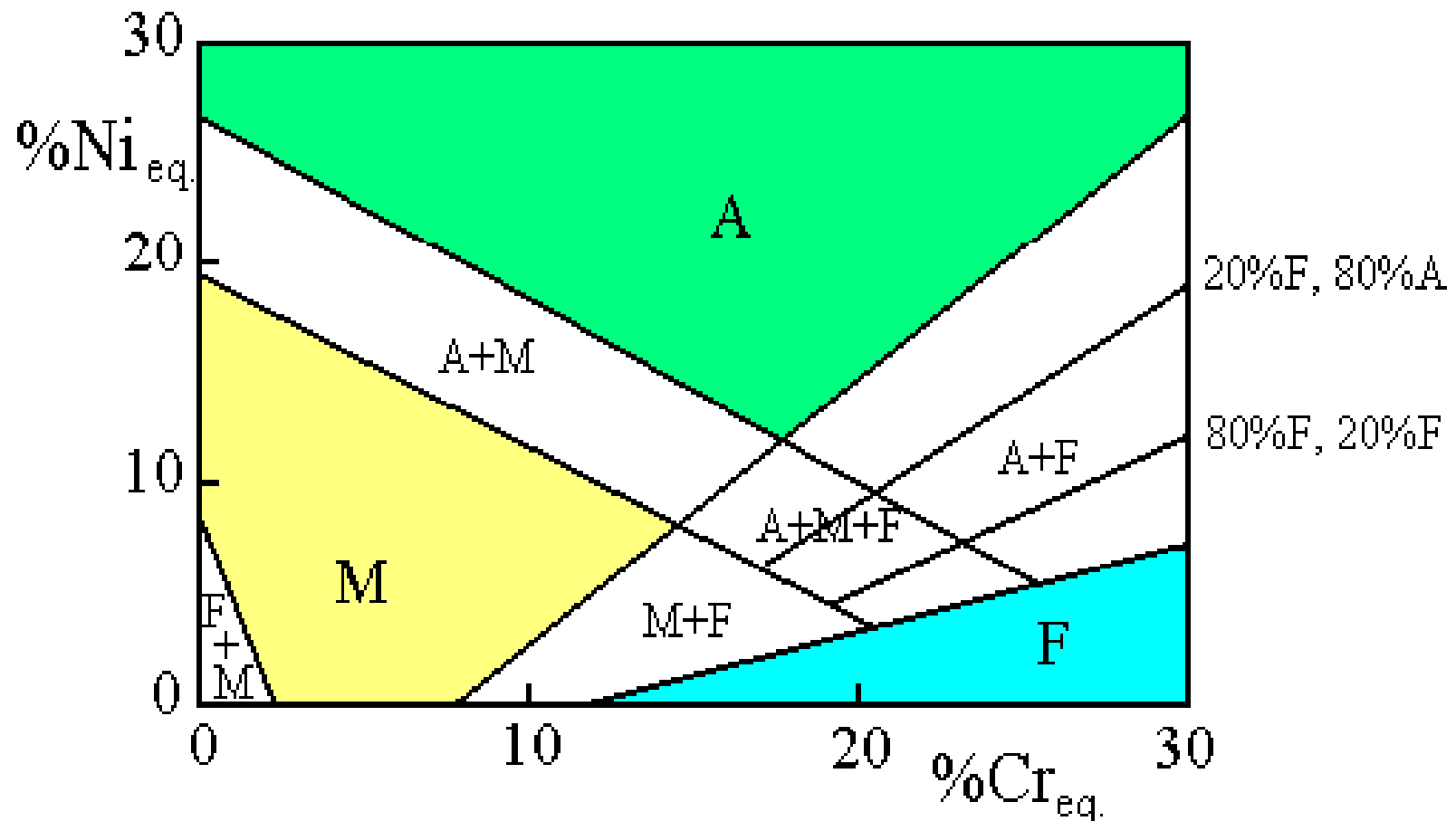
$$Cr_{eq} = \%Cr + \%Mo + 1.5 \%Si + 0.5 \%Nb$$

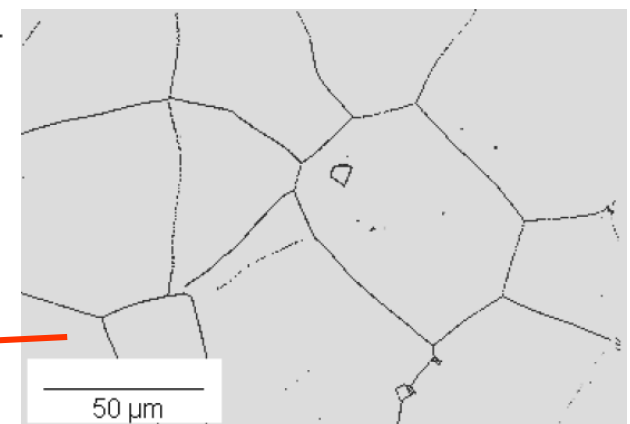
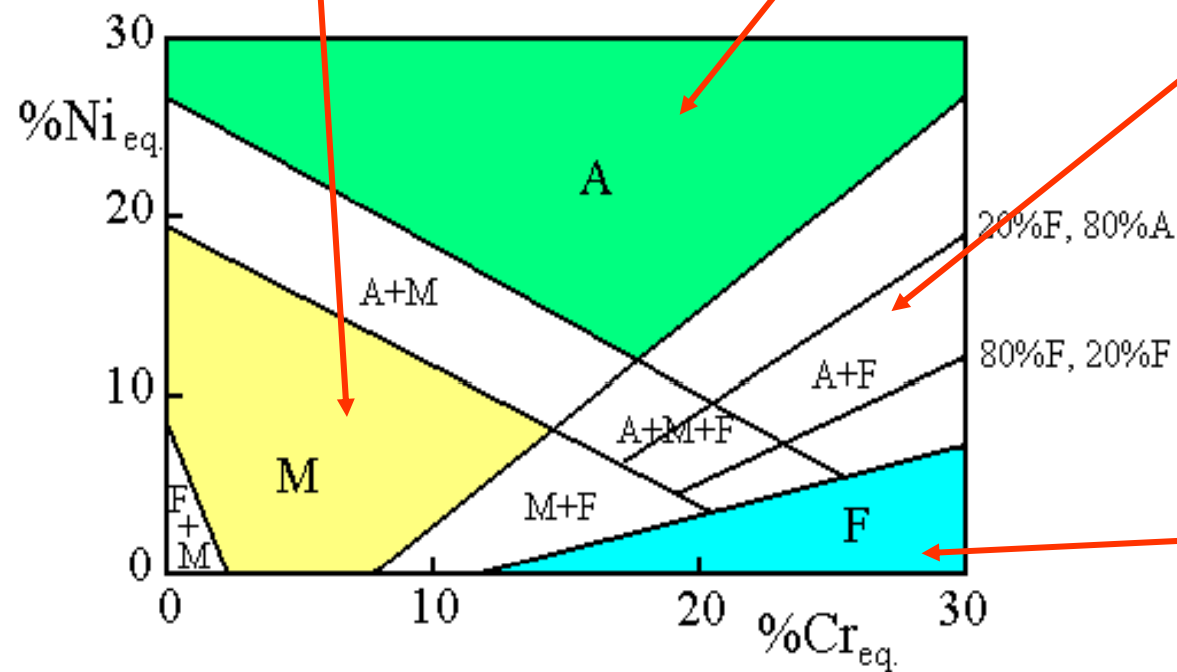
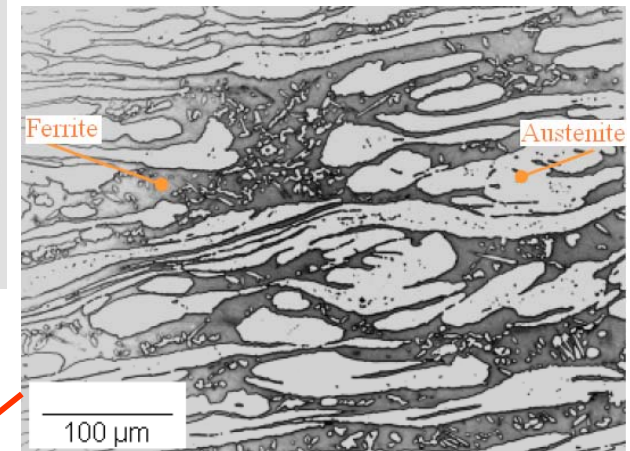
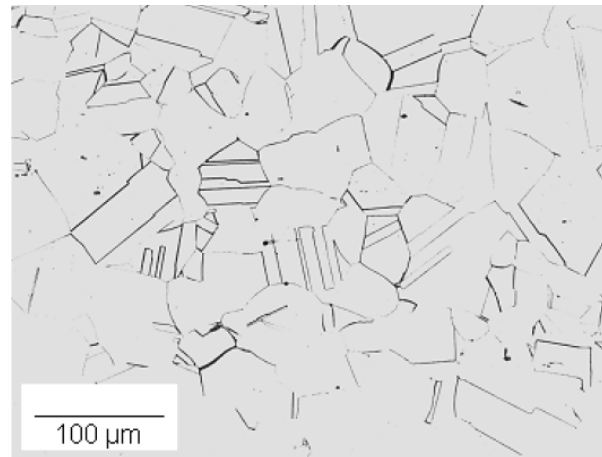
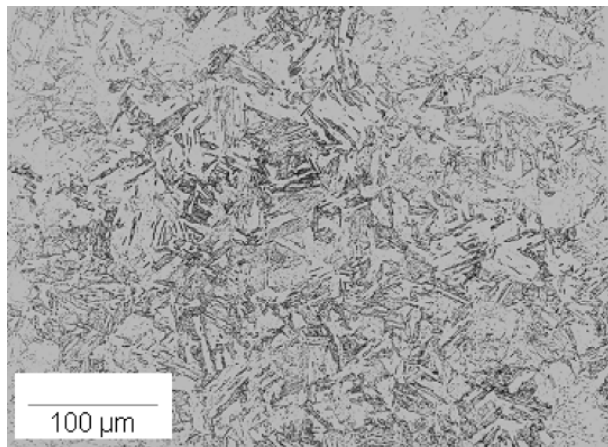


Gli acciai inossidabili vengono usualmente classificati in base alla microstruttura e, spesso, viene per essi utilizzata la designazione americana AISI:

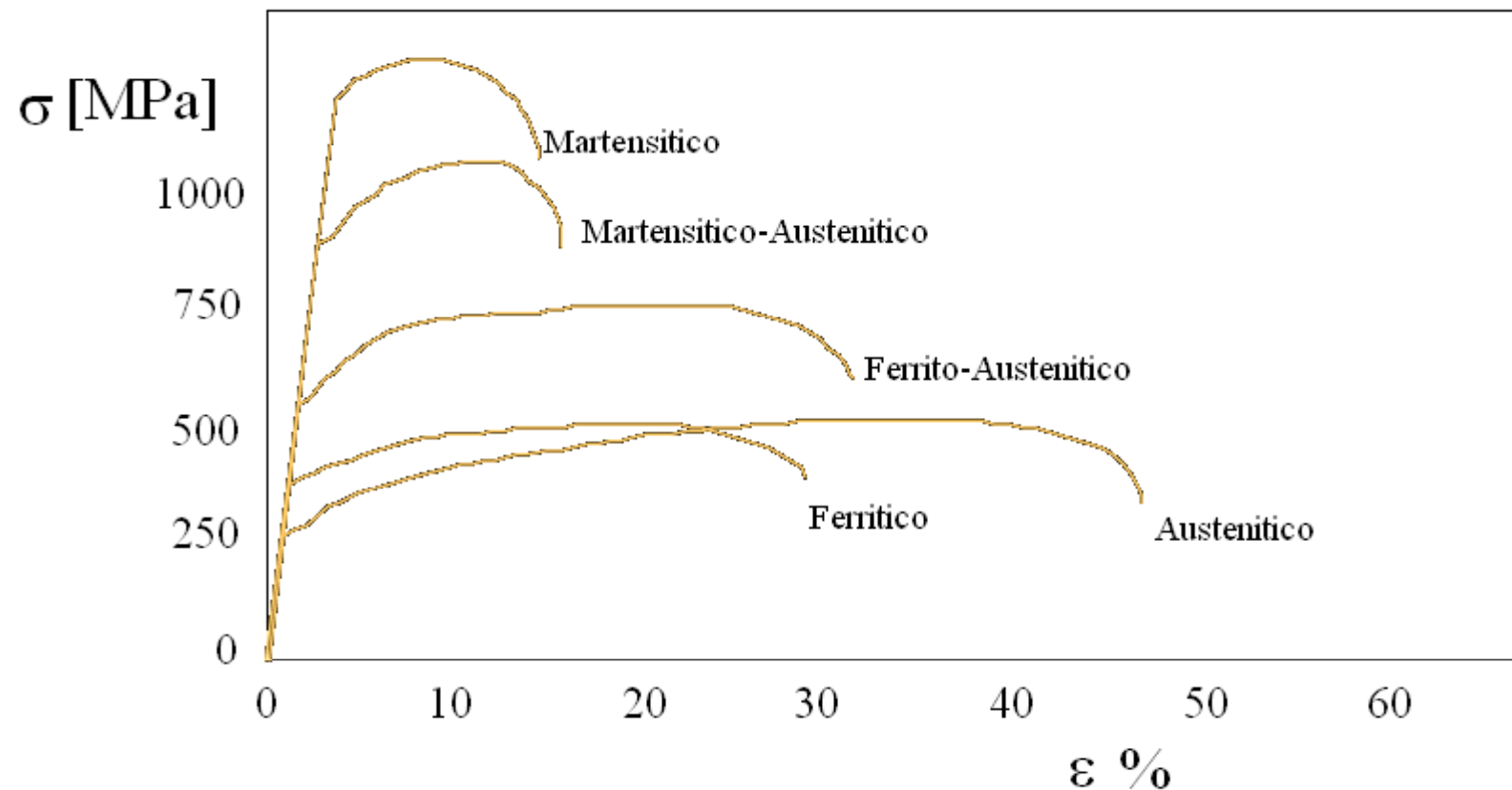
Serie 400: acciai inossidabili ferritici e martensitici

Serie 300: acciai inossidabili austenitici





Resistenza a trazione per differenti acciai inossidabili



Acciai inossidabili martensitici (posseggono A_3 ed A_1)

Sono caratterizzati da una notevole temprabilità e la loro velocità di raffreddamento critica corrisponde a quella relativa ad un raffreddamento in aria.

Tip o AISI	% C	% Cr	Altri elementi	R_e [MPa]	R_m [MPa]	A%
410	0.12	13	-	500	700-900	14
420	0.30	13	-	550	750-1050	10
431	0.16	16	Ni = 2.00%	600	800-1000	14

I trattamenti tipici di questi acciai, che vengono effettuati nei diversi stadi di lavorazione, sono la ricottura, la tempra ed il rinvenimento.

Per quanto riguarda il rinvenimento:

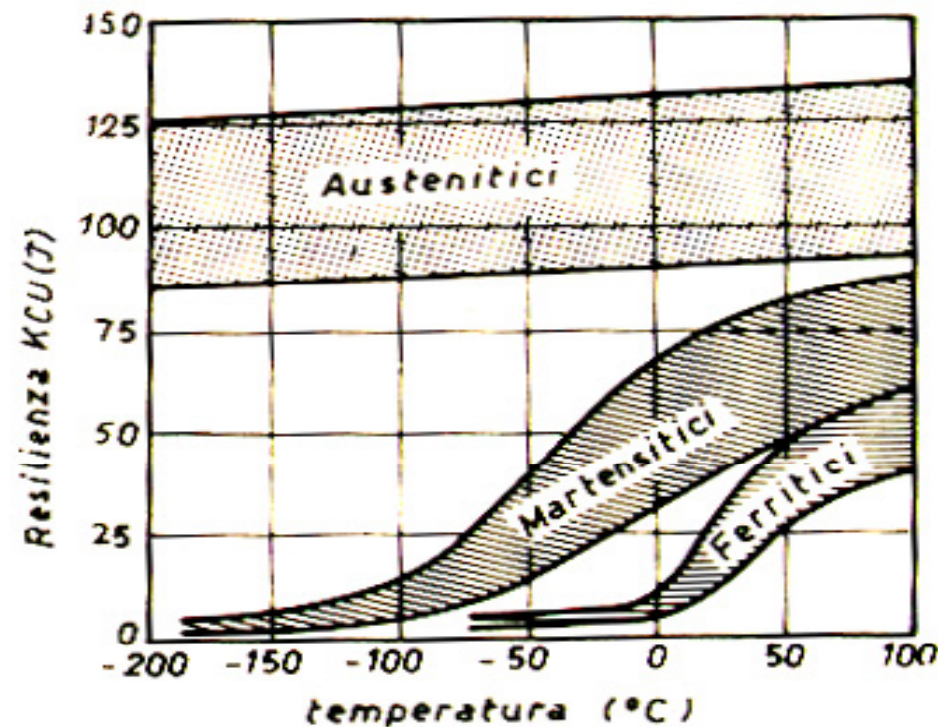
per $T_{\text{rinv}} < 430^\circ\text{C}$ si ha la migliore resistenza alla corrosione

per $600^\circ\text{C} < T_{\text{rinv}} < 760^\circ\text{C}$ si ha la migliore tenacità

per $430^\circ\text{C} < T_{\text{rinv}} < 570^\circ\text{C}$ si ha il rischio di fragilità al rinvenimento

Solitamente $150^\circ\text{C} < T < 430^\circ\text{C}$

Impiego a basse temperature



Impiego ad elevate temperature

Gli acciai martensitici non vengono impiegati ad elevata T per non eliminare gli effetti della bonifica, a parte l'AISI 410 (fino a circa 650°C).

Acciai inossidabili ferritici (non hanno A_3 ed A_1 , e non sono induribili per tempra)

Il rischio maggiore è l'ingrossamento del grano.

Per $400^{\circ}\text{C} < T < 600^{\circ}\text{C}$ si ha la fragilità al rinvenimento

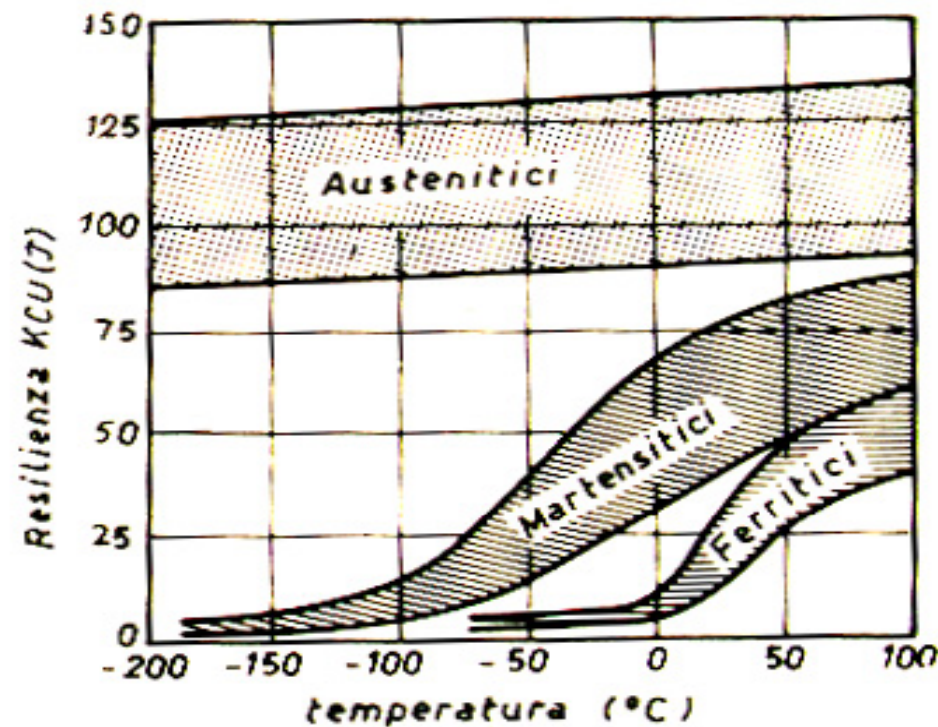
per $550^{\circ}\text{C} < T < 850^{\circ}\text{C}$ si ha la precipitazione di fase σ

Possono essere sottoposti a ricottura (per migliorare resistenza meccanica ed alla corrosione) ed a ricristallizzazione

Tipo AISI	%C	%Cr	Altri elementi	R_s [MPa]	R_m [MPa]	A%
405	0.06	13	Al = 0.20%	230	450-600	20
430	0.08	17	-	250	450-650	18
446	0.16	26	N $\leq$ 0.25%	280	500-700	15

Impiego a basse temperature

La temperatura di transizione (piuttosto elevata) può essere abbassata diminuendo il tenore degli elementi interstiziali (C+N)



Impiego ad elevate temperature

Gli acciai ferritici hanno una elevata resistenza all'ossidazione (crescente al crescere della %Cr). L'AISI 446 può resistere fino a 1100°C

Acciai inossidabili austenitici (hanno A_3 ed $A_1 < 20^\circ\text{C}$)

Sono esposti al pericolo della sensibilizzazione ($600-700^\circ\text{C}$), che, in determinate condizioni, rende possibile l'attacco corrosivo intergranulare.

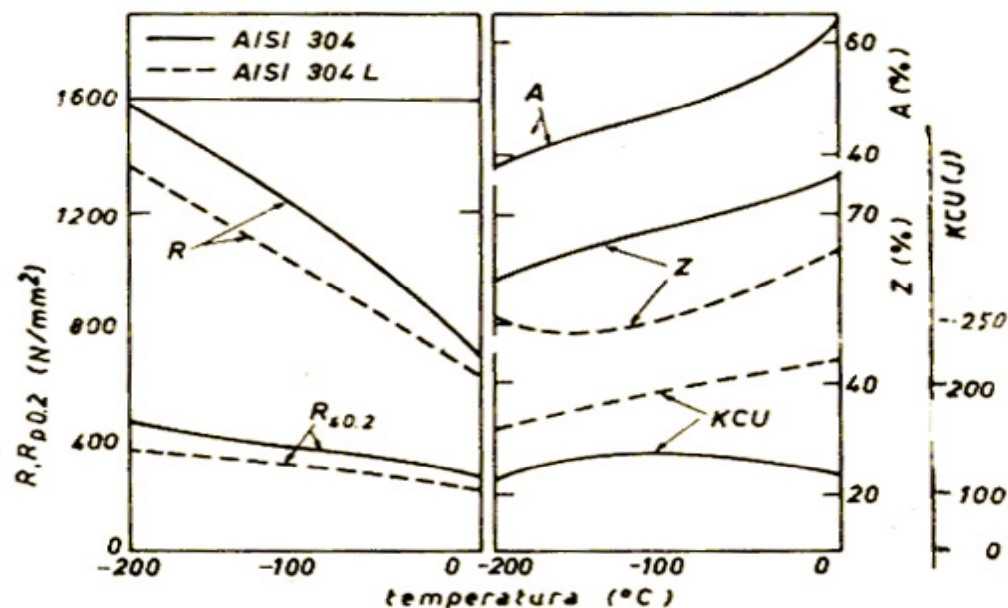
Per ovviare a tale problema si può:

- Diminuire la % di C (fino a 0.02%)
- Aggiungere elementi di lega stabilizzanti (Nb,Ti), effettuando il trattamento di stabilizzazione ($885^\circ\text{C}-2\text{h}$)
- Effettuare un trattamento di solubilizzazione (1000°C)

Fra i trattamenti termici si può ricordare anche la distensione (a $350-450^\circ\text{C}$) che viene effettuato solo in taluni casi

Tipo AISI	%C	%Ni	%Cr	Altri elementi	R_e [MPa]	R_m [MPa]	A%
304	0.05	10	18	-	250	600	55
310	0.22	20	25	-	350	650	45
321	0.06	11	18	Ti>5 %C	250	600	50

Impiego a basse temperature



Impiego ad elevate temperature

Si può avere:

- Precipitazione di carburi
- Segregazione fase σ

