

Acciai inossidabili

Irene Calliari, Dipartimento di Ingegneria Industriale ,
Università di Padova, irene.calliari@unipd.it



METALLURGIA PER NON
METALLURGISTI, AIM, MILANO 16
MAGGIO



Cenni storici Acciaio inossidabile (1)

- ❑ Sono nati alla vigilia della I guerra mondiale
- ❑ Solitamente si fa risalire la data di nascita al periodo 1912-1914. Infatti il 17 ottobre e il 20 dicembre 1912 il metallurgista Pasel della Krupp deposita in Germania due brevetti (che saranno poi rilasciati nel 1918 con i numeri 304 126 e 104 159) in cui si parla di acciai inossidabili austenitici contenenti 18 parti di cromo e 8 parti di nichel
- ❑ La prima colata industriale di acciaio inossidabile avviene il 20 agosto 1913 a Sheffield, presso l'acciaiera Firth Brown, a cura dell'inglese H. Brearly. Il prodotto di questa prima colata servì a costruire lame di coltelli
- ❑ Le prime applicazioni, oltre alla coltelleria, sono nel settore dei motori a combustione interna, dove sono impiegati per la costruzione di valvole durante la I guerra mondiale, mentre la diffusione in tutti i settori di impiego ha inizio nel 1920 e lo sviluppo continua ancora oggi

Cenni storici

Acciaio inossidabile (2)

- ❑ Le premesse per la scoperta e la produzione degli acciai inox sono comunque dovute essenzialmente allo sviluppo della siderurgia verso la fine dell'800 primi anni del '900 con l'avvento dei forni elettrici, senza i quali non era pensabile di poter ottenere industrialmente, su larga scala e a costi realmente economici, leghe di elevata purezza e di composizione complessa come gli acciai inossidabili
- ❑ La presenza dell'Italia in questo settore si manifesta solo nella seconda metà degli anni '20 con la produzione della Cogne (1925), per poi proseguire con quella della Falck (1932), della Vanzetti (1934), della Ilssa Viola (1939), delle Acciaierie di Bolzano (1940), della Fiat (1954-55) e della Terninox e delle Acciaierie Valbruna (1964)

Acciai inossidabili

- ☺ Impianti chimici/petrolchimici
- ☺ Industria cartaria/cellulosa
- ☺ Applicazioni marine/*off shore*
- ☺ Industria alimentare
- ☺ Elettrodomestici
- ☺ Settore *automotive*
- ☺ Settore biomedicale
- ☺ Settore dell'edilizia

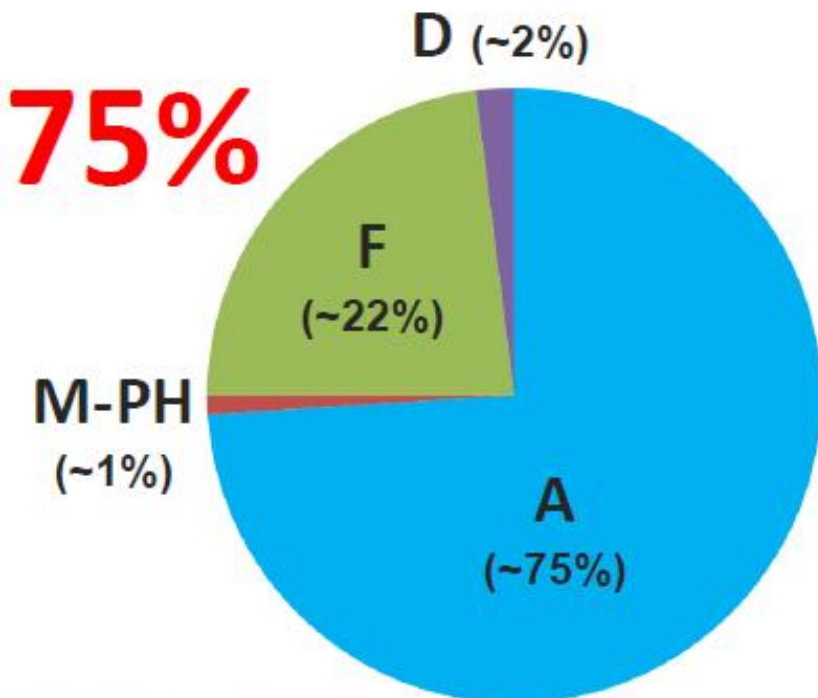


METALLURGIA PER NON
MEATLLURGISTI, AIM, MILANO 16
MAGGIO

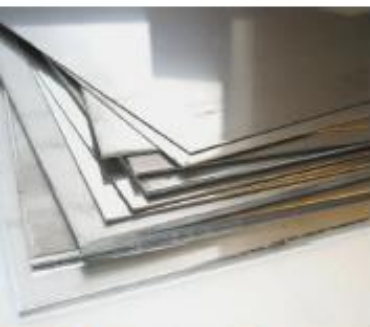
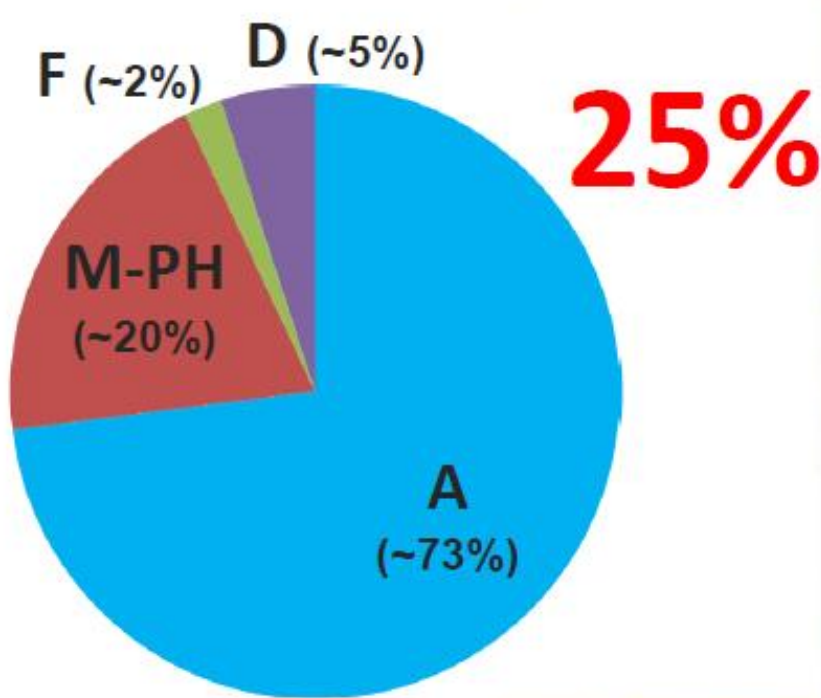


Acciai inossidabili – mercato

Prodotti piani



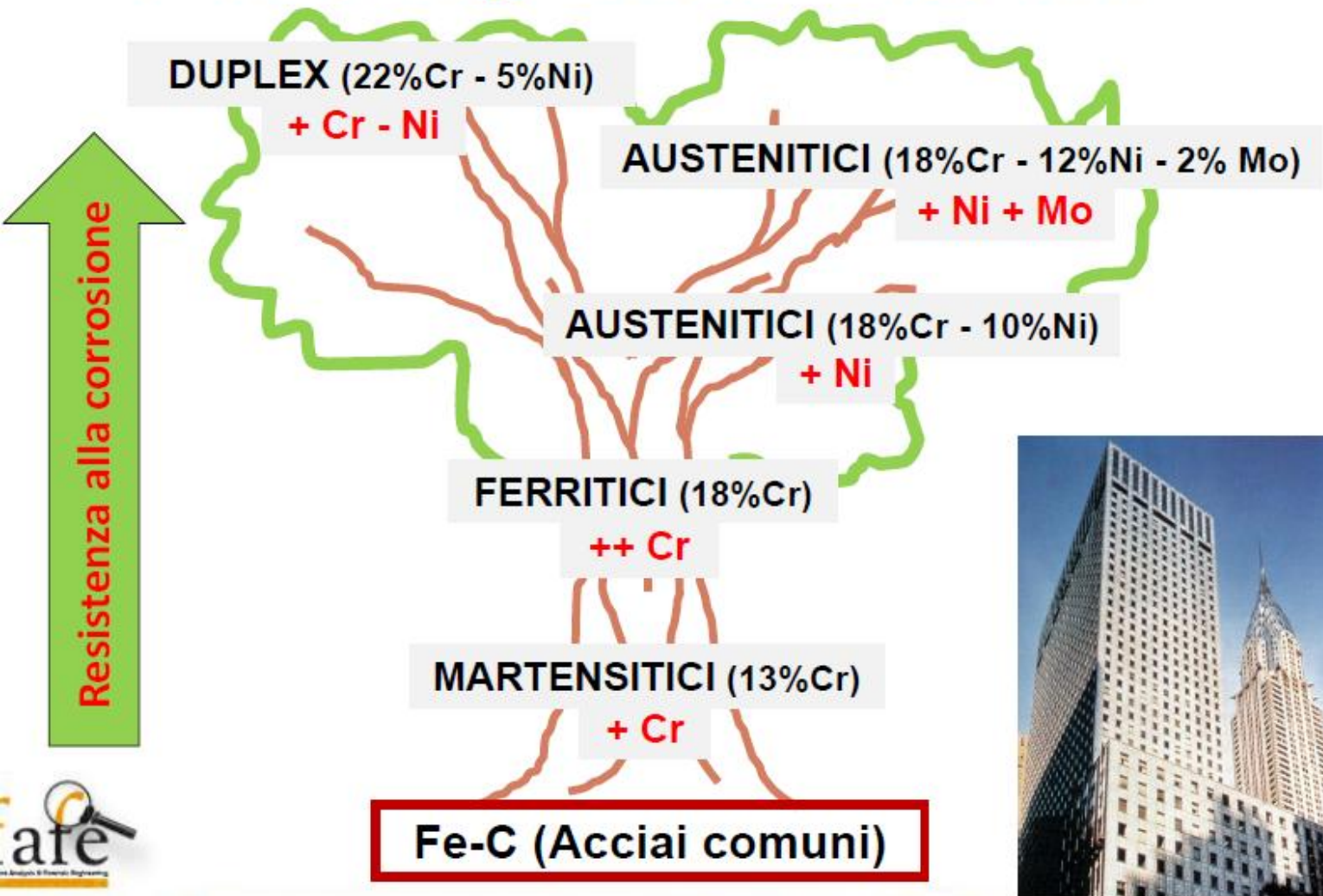
Prodotti lunghi



**M
E
D
I
A** {
Austenitici: ~74%
Ferritici: ~18%
Martensitici & PH: ~6%
Duplex: ~2%



L'albero degli acciai inossidabili



Grazie a Prof. Marco Boniardi per l'albero

METALLURGIA PER NON
MEATLLURGISTI, AIM, MILANO 16
MAGGIO

EN 10088



***Resistenza a
corrosione***



Martensitici

Ferritici

Austenitici

Austeno-ferritici

***Resistenza
all'ossidazione a
caldo (refrattari)***



Ferritici

Austenitici

***Resistenza allo
scorrimento
viscoso (creep)***



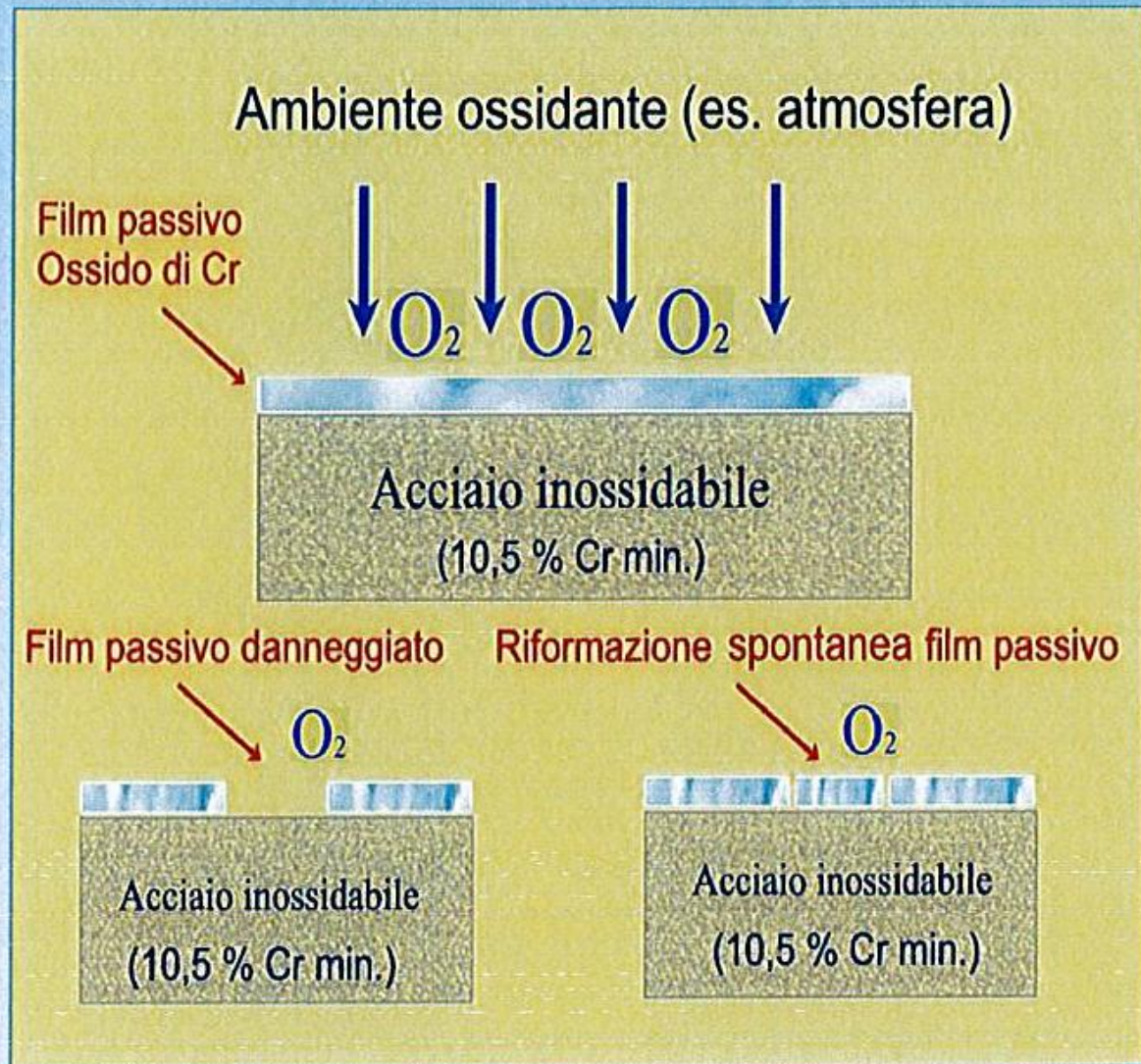
Martensitici

Austenitici

**Perché
inossidabili ?**



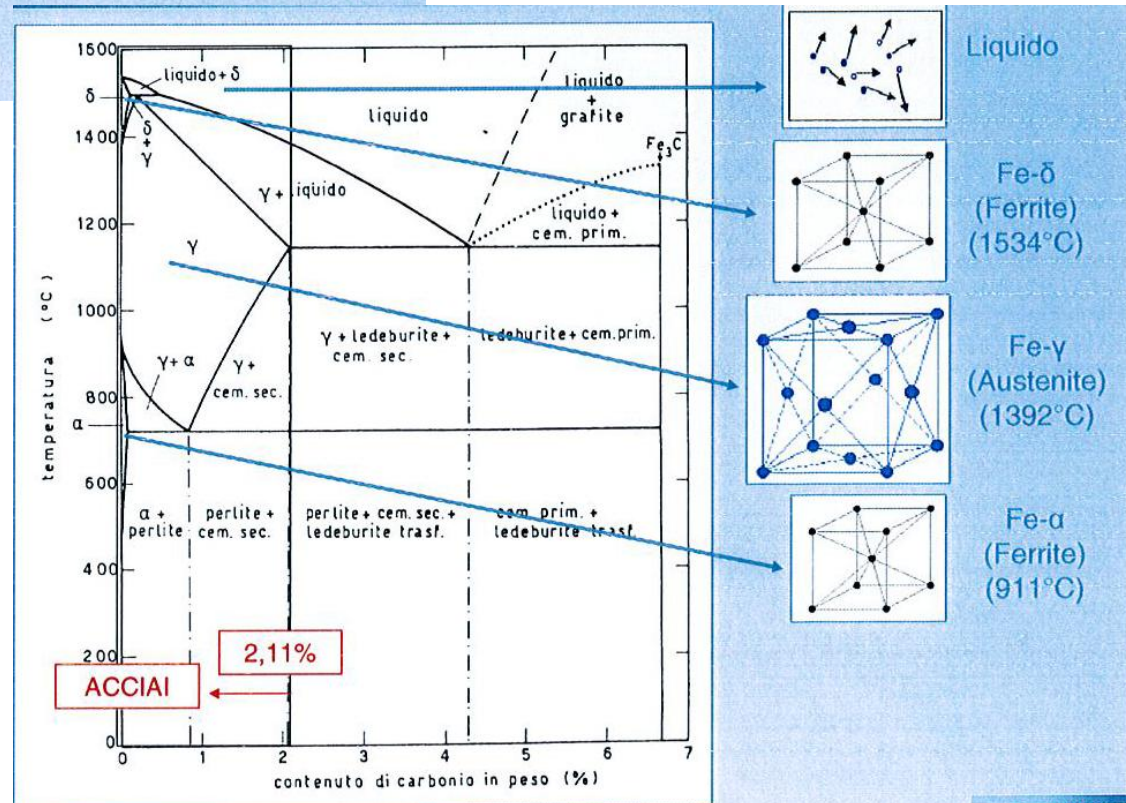
**Acciai
inossidabili:
10,5% Cr min.**



Il concetto di "lega" metallica

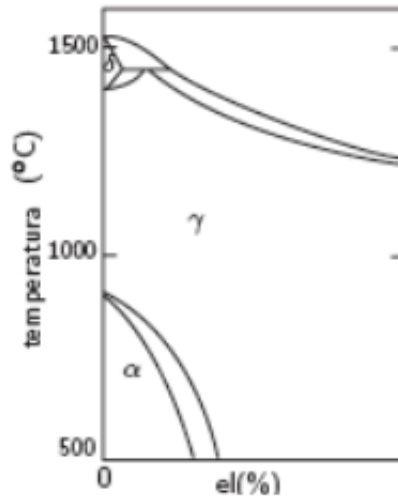
Una **lega metallica** è una combinazione, di due o di più elementi, in cui quello base è un metallo e dove il materiale risultante ha proprietà metalliche differenti da quelle dei relativi componenti.

Una lega con due componenti è denominata una lega binaria; una con tre è una lega ternaria ed una con quattro è una lega quaternaria.

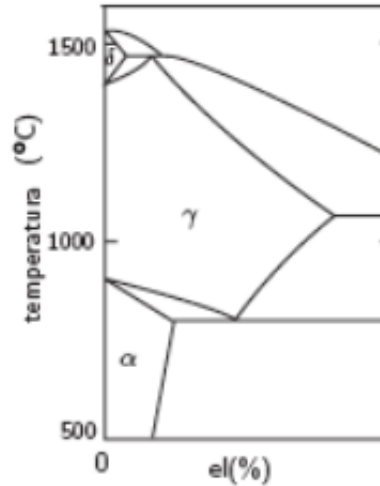


Effetto degli elementi sui punti critici

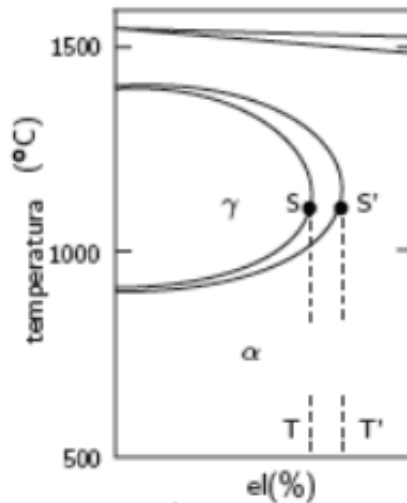
Campo γ
aperto:
Ni, Mn, Co



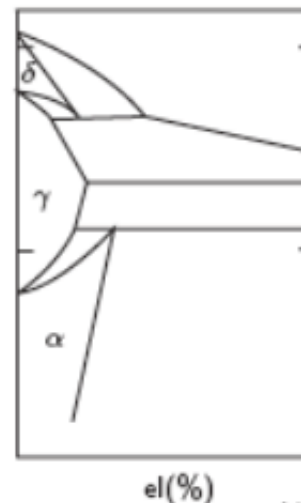
Campo γ
allargato:
C, N Cu, Zn



Campo γ
chiuso:
Cr, Mo, V



Campo γ
ristretto:
B, S, Zr, Nb



Gli acciai inossidabili

- Leghe Fe-C-Cr(-Ni)
- Resistenza alla corrosione
- Cromo: minimo 12% per garantire la passivabilità
- Film superficiale di ossido
- Unificazione: AISI
 - austenitici (2XX, 3XX)
 - ferritici, martensitici (4XX)
 - austeno-ferritici (duplex)

Principali famiglie di acciai inossidabili

- ✓ **Acciai inossidabili Martensitici**
- ✓ **Acciai inossidabili Ferritici**
- ✓ **Acciai inossidabili Austenitici**
- ✓ **Acciai inossidabili Bifasici (duplex)**
- ✓ **Acciai inossidabili Indurenti per precipitazione (PH)**

Acciai inossidabili: le tipologie

Inox austenitici

(1.4301 – 304)
(1.4401 – 316)



Inox ferritici

(1.4016 – 430)
(1.4512 – 409)



Inox martensitici

(1.4006 – 410)
(1.4028 – 420)



Inox austeno-ferritici (duplex o bifasici)

(1.4462 – 2205)



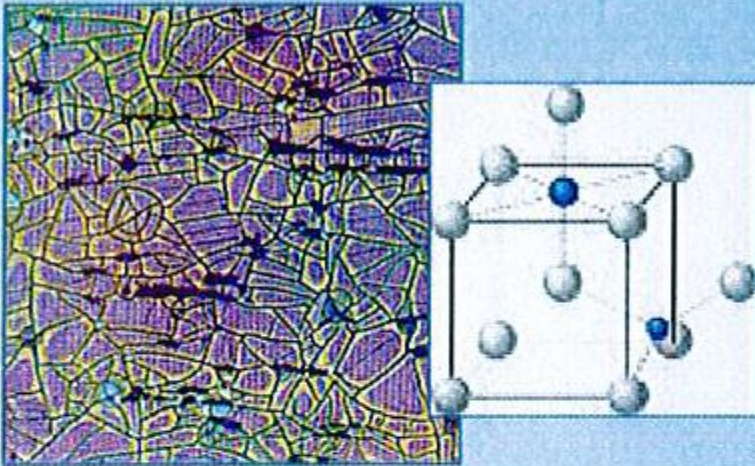
Inox indurenti per precipitazione (PH - precipitation hardening)

(1.4542 – 630)



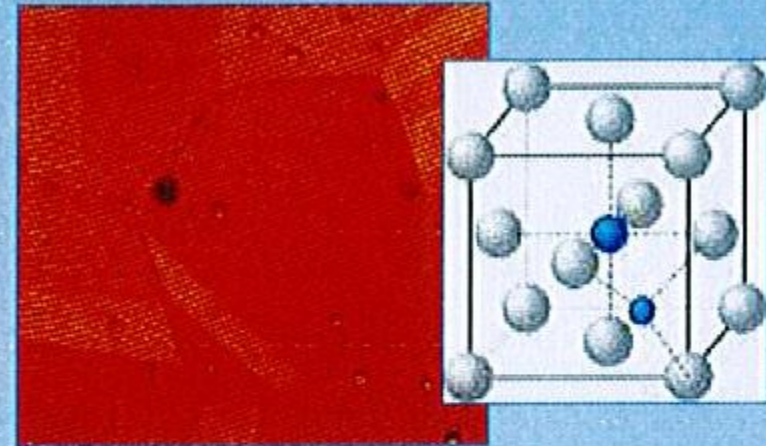
Le strutture

Ferritica



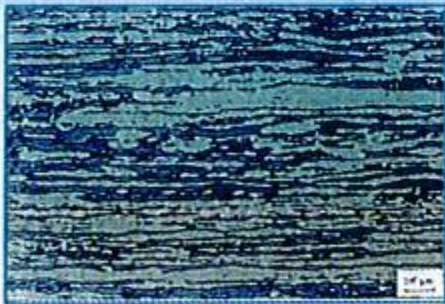
Cr, Mo, Ti, W (es. 1.4016 – 430)

Austenica

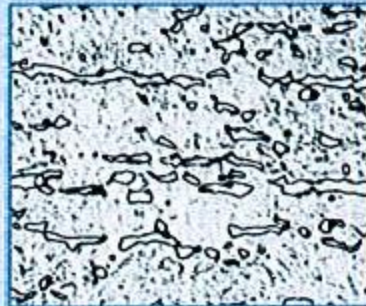


Ni, Mn, C, N, Cu (es. 1.4301- 304)

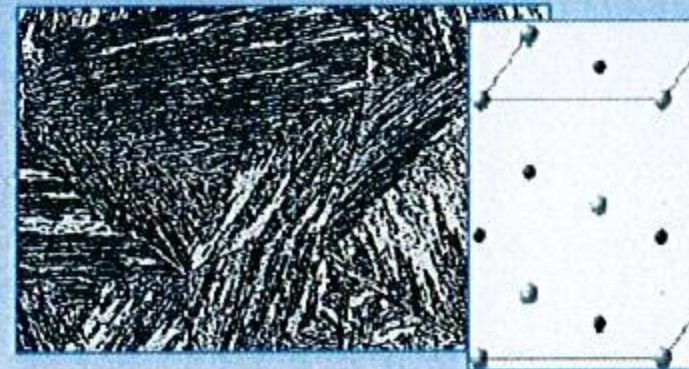
Duplex - (Bifasica – es. 2205)



PH (es. 1.4542 – type 630)



Martensitica (es. 1.4006 – 410)



Gli acciai inossidabili

		C	Cr	Ni	Mo	N	R (MPa)	A (%)
Austenitici	AISI 304	0.06	19	9	-	-	586	55
	AISI 302	0.15	18	9	-	-	620	50
	AISI 316	0.06	17	12	2.5	-	620	50
	AISI 304L	0.03	19	10	-	-	517	55
	AISI 316L	0.03	17	12	2.5	-	517	50
Ferritici	AISI 430	0.12	17	-	-	-	517	30
Martensitici	AISI 410	0.15	12	-	-	-	1310	15
Duplex	23-04	0.02	18	4	-	0.10	700	25
	22-05	0.02	22	5.5	3	0.14	800	25
	25-07	0.02	25	7	4	0.25	920	20

Gli acciai inossidabili

Caratteristiche fisiche



Tipo di acciaio	Qualità	α $\times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$	λ $\text{W/m } ^\circ\text{C}$	Ω $\text{n}\Omega\text{m}$	E kN/mm^2
Acciai al carbonio	1016	13	47	150	205
Ferritico	S44400	12,5	24	600	225
Ferritico-austenitico	329	13,5	20	850	205
Austenitico	304	19,5	15	700	200

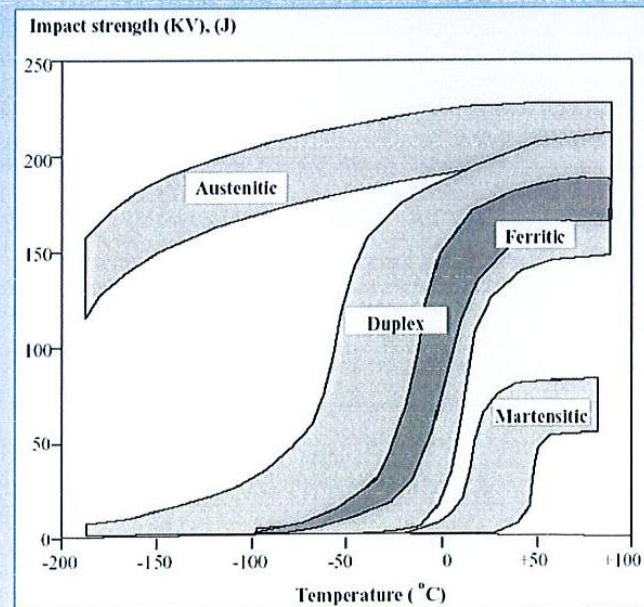
α = dilatazione a 20-800 $^\circ\text{C}$

λ = conduttività termica a 20 $^\circ\text{C}$

Ω = resistività elettrica a 20 $^\circ\text{C}$

E = modulo di elasticità a 20 $^\circ\text{C}$

Le caratteristiche meccaniche (basse temperature)



Carbonio

Il carbonio è un elemento fortemente austenitizzante, ed è presente in quantità significative solo negli acciai inossidabili martensitici.

Cromo

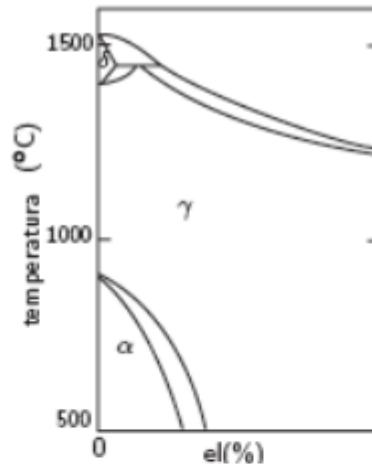
Il cromo è presente in tutti i tipi di acciai inossidabili in percentuali variabili . Forma il film passivo.

Nichel

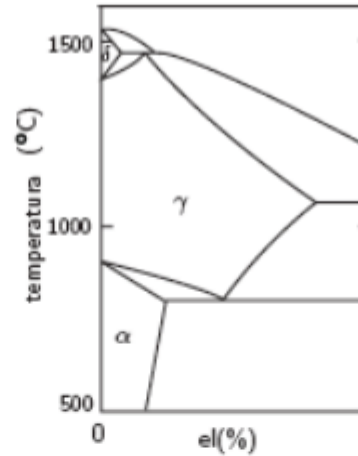
Il nichel è presente principalmente negli acciai inossidabili austenitici; il nichel si può aggiungere in percentuali minori anche nelle altre famiglie di acciai per migliorare la stabilità e la cinetica di riformazione del film passivo.

Effetto degli elementi sui punti critici

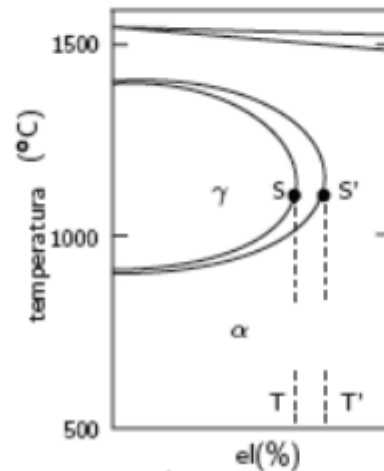
Campo γ
aperto:
Ni, Mn, Co



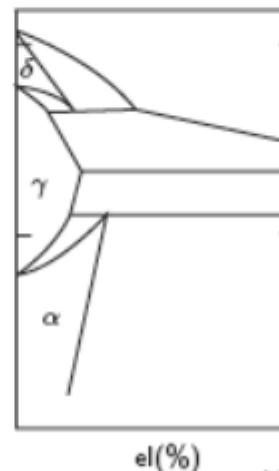
Campo γ
allargato:
C, N Cu, Zn



Campo γ
chiuso:
Cr, Mo, V

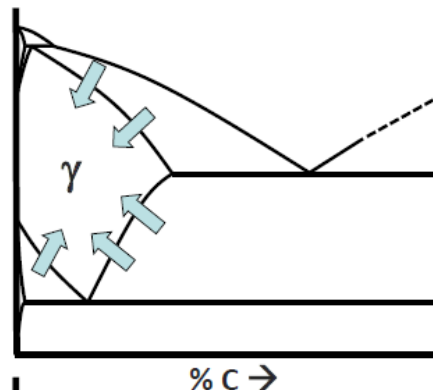


Campo γ
ristretto:
B, S, Zr, Nb



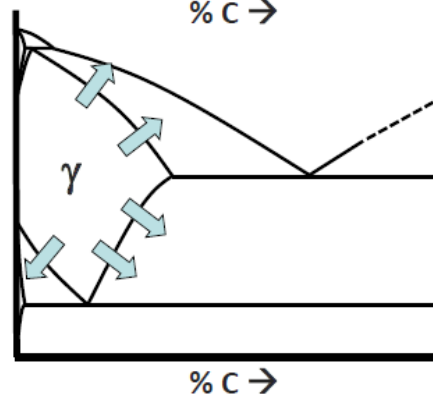
L'aggiunta di Molibdeno conferisce all'acciaio inossidabile una migliore resistenza alla corrosione sotto sforzo, Niobio e Titanio sono due elementi stabilizzanti e riducono la possibilità di sensibilizzazione dell'acciaio inossidabile. Il Manganese è aggiunto in sostituzione del Nichel per la serie 200 e conferisce all'acciaio struttura austenitica.

Effetto degli elementi di lega



Elementi ferritizzanti

- allargano/aprono il campo α
- stringono/chiudono il campo γ
- Cr, Mo, V, Si, B, Al P, Ti



Elementi austenitizzanti

- allargano/aprono il campo γ
- stringono/chiudono il campo α
- Ni, Mn, C, N, Cu

Gli acciai inossidabili

Diagramma
di Shaeffler
semplificato

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

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

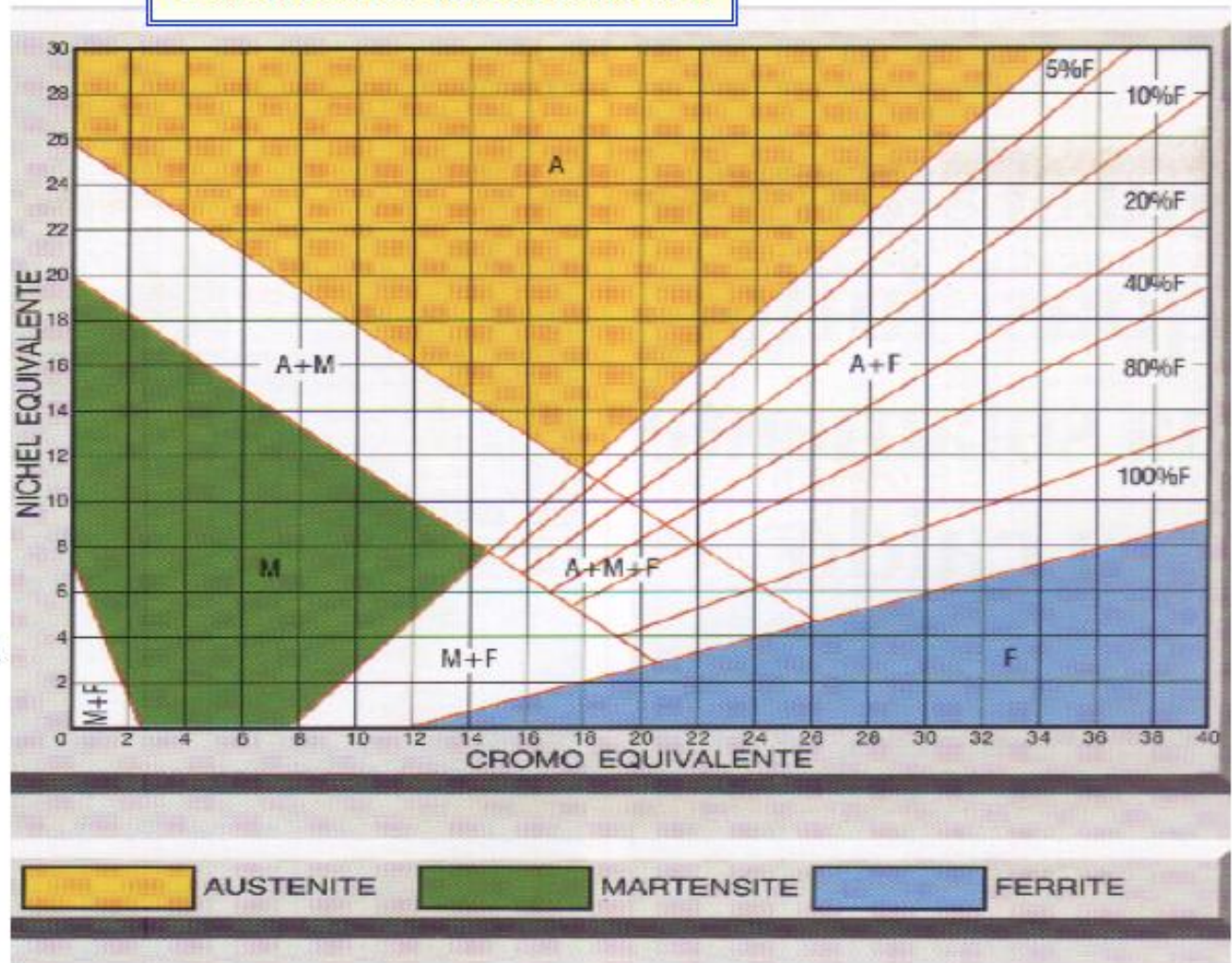
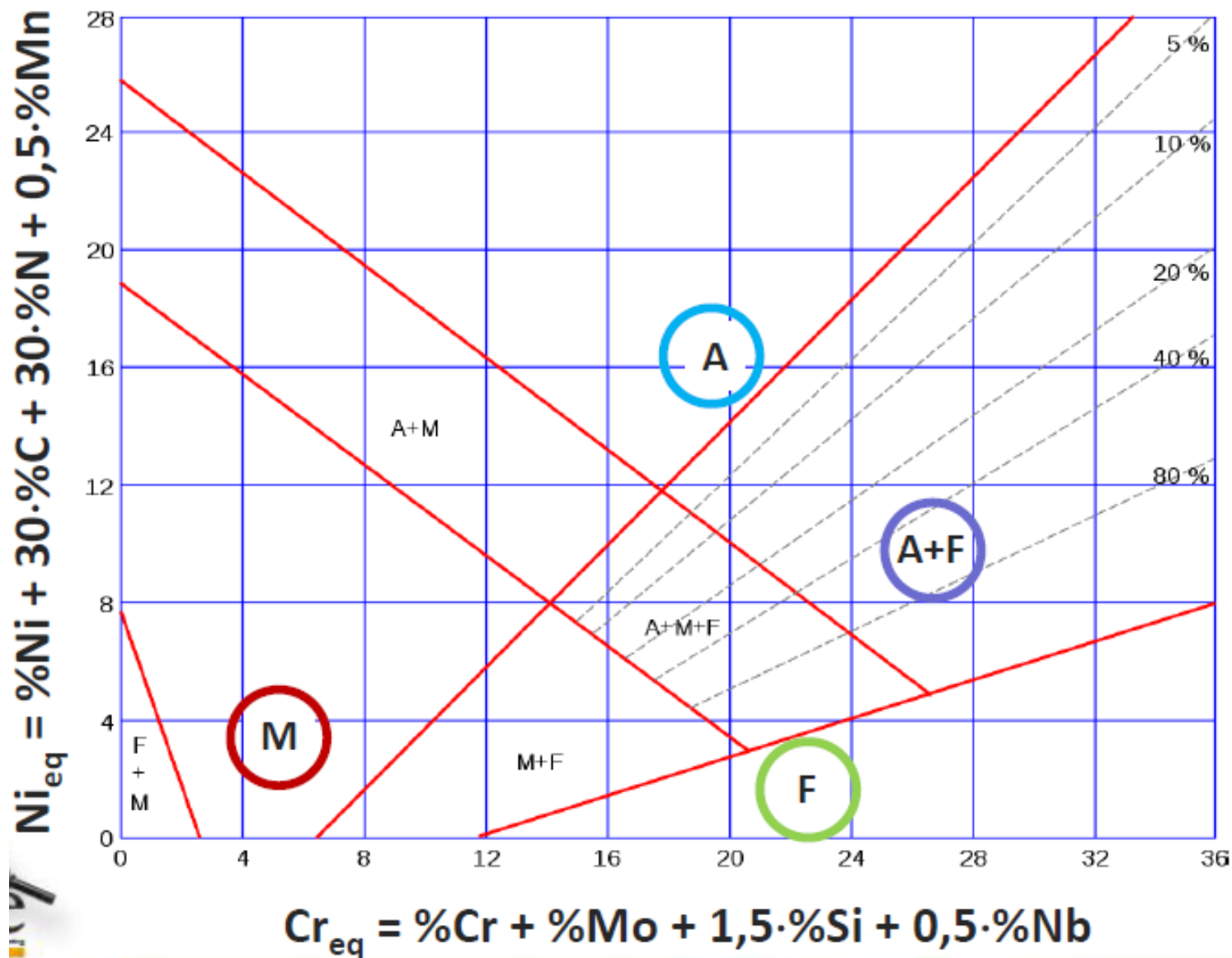


Diagramma di Schaeffler

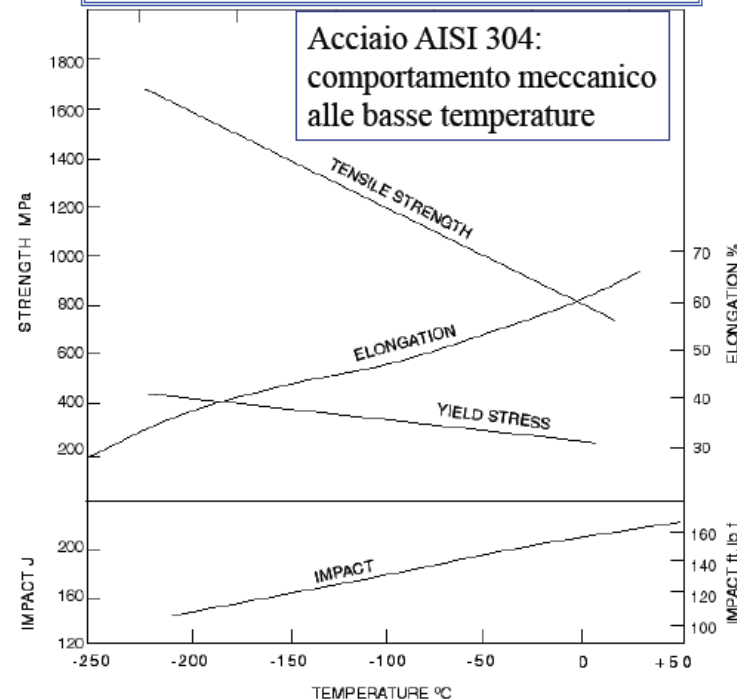


austenitici

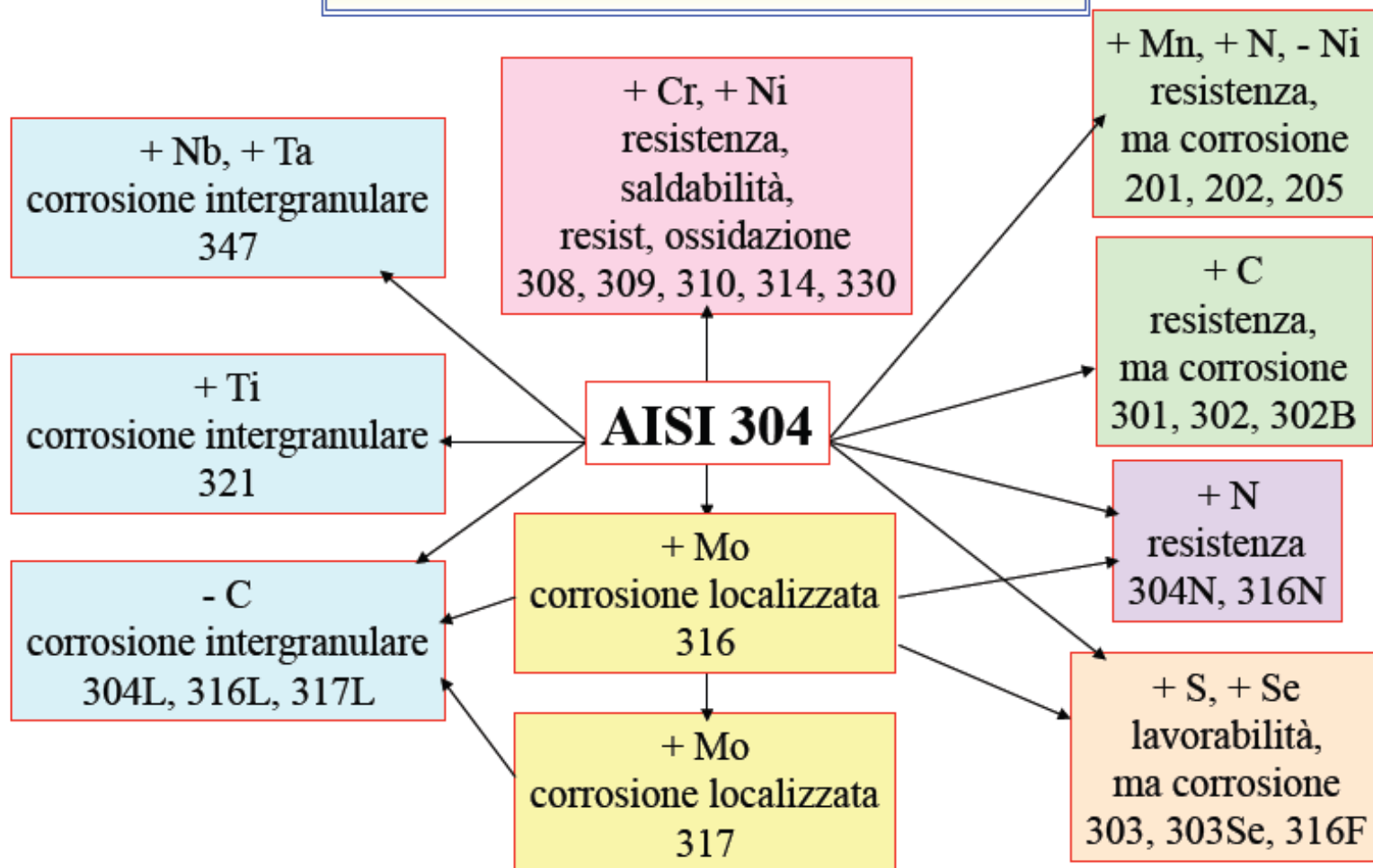
AISI 304	X5CrNi1810	C 0,08%	Cr 18%	Ni 10%	-
AISI 304L	X2CrNi1811	C 0,03%	Cr 18%	Ni 11%	-
AISI 316	X5CrNiMo1712	C 0,08%	Cr 17%	Ni 12%	Mo 2,3%
AISI 316L	X2CrNiMo1712	C 0,03%	Cr 17%	Ni 13%	Mo 2,3%
AISI 321	X6CrNiTi1811	C 0,08%	Cr 18%	Ni 11%	Ti > 5x%C
AISI 347	X6CrNiNb1811	C 0,08%	Cr 18%	Ni 11%	Nb > 10x%C

Gli acciai inossidabili austenitici

Acciaio AISI 304:
comportamento meccanico
alle basse temperature



Gli acciai inossidabili austenitici



Gli acciai inossidabili austenitici: note sulla resistenza a corrosione

- Utilizzati in ambienti umidi
- Aumentando cromo e molibdeno aumenta la resistenza alle soluzioni aggressive
- Elevato contenuto di nichel: minori rischi di tensocorrosione
- Resistenza a corrosione generalizzata, interstiziale e pitting: funzione di quantità di alliganti
- In ambienti contenenti cloruri: acciai con maggiori contenuti di cromo, molibdeno e azoto
- Acqua marina ($\Rightarrow$ pitting e corrosione interstiziale):
Acciai superaustenitici: 254 SMO (ASTM S31254) e 654 SMO (ASTM S32654)
- Acciai senza molibdeno: alte temperature, in contatto con gas caldi
- Temperature molto elevate: disgregazione dello strato di ossido (temperatura scagliamento)
- La temperatura di scagliamento aumenta con il tenore di cromo presente nell'acciaio
- Acciai per impieghi alle alte temperature: AISI 310S e 253MA (fino a 1150-1200°C in aria)

NON hanno punti critici.

Non si possono eseguire trattamenti termici che modifichino le loro proprietà meccaniche.

Trattamenti termici :

‣ ***Solubilizzazione ($T > 1000^{\circ}\text{C} + \text{raffr. H}_2\text{O}$)***

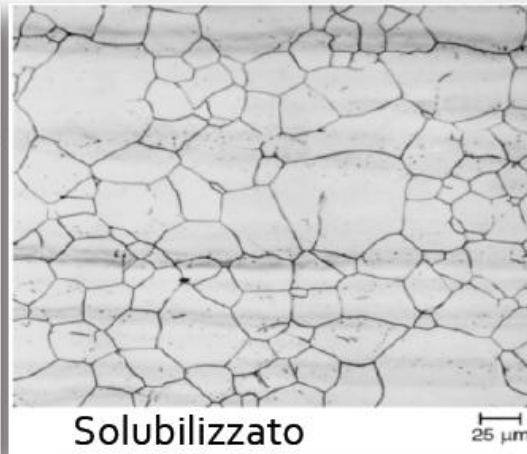
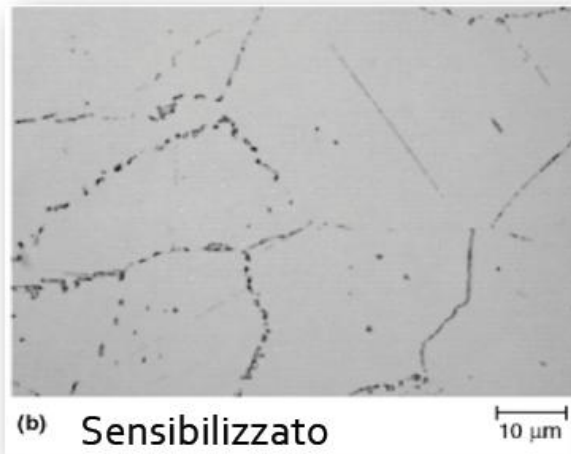
‣ ***Stabilizzazione ($T = 885^{\circ}\text{C} + \text{raffr. aria}$)***

‣ ***Distensione ($T = 350^{\circ}\text{C} - 430^{\circ}\text{C} + \text{raffr. aria}$)***



‣ Solubilizzazione ($T > 1000^{\circ}\text{C} + \text{raffr. H}_2\text{O}$)

Si effettua per rendere omogenea la struttura e per eliminare le alterazioni microstrutturali dovute alle varie lavorazioni.



Attraverso la solubilizzazione (chiamata anche "tempra austenitica") si ottiene la solubilizzazione di tutti i carburi.

Sono impiegabili alle alte T in quanto presentano buona resistenza all'ossidazione.

‣ Precipitazione dei carburi ($400^{\circ}\text{C} - 600^{\circ}\text{C}$)

‣ Precipitazione fase σ ($550^{\circ}\text{C} - 800^{\circ}\text{C}$)



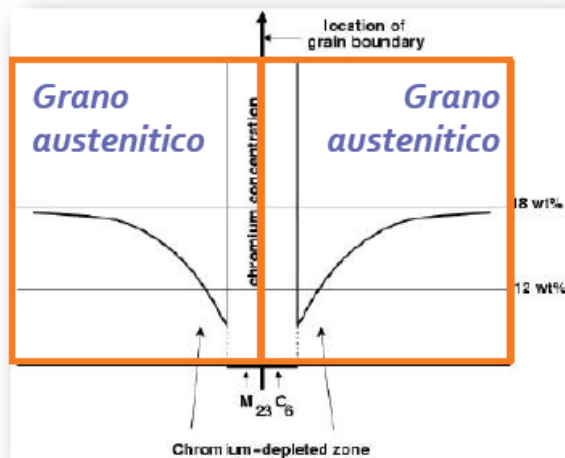
‣ Distensione ($T = 350^{\circ}\text{C} - 430^{\circ}\text{C} + \text{raffr. aria}$)

la distensione si effettua a temperature inferiori a 450°C .

(per evitare l'intervallo di precipitazione di carburi)

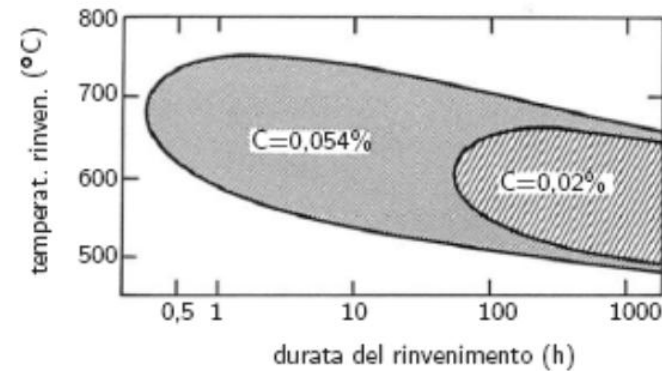
la distensione post-saldatura è eseguita raramente. Viene eseguita quando si vuole ridurre il rischio di corrosione sotto sforzo, o semplicemente per eliminare le tensioni

Acciai inossidabili austenitici – sensibilizzazione

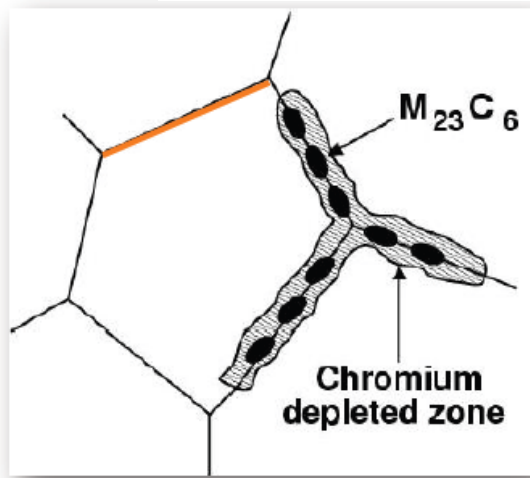


La precipitazione di carburi a bordo grano, porta al fenomeno della sensibilizzazione.

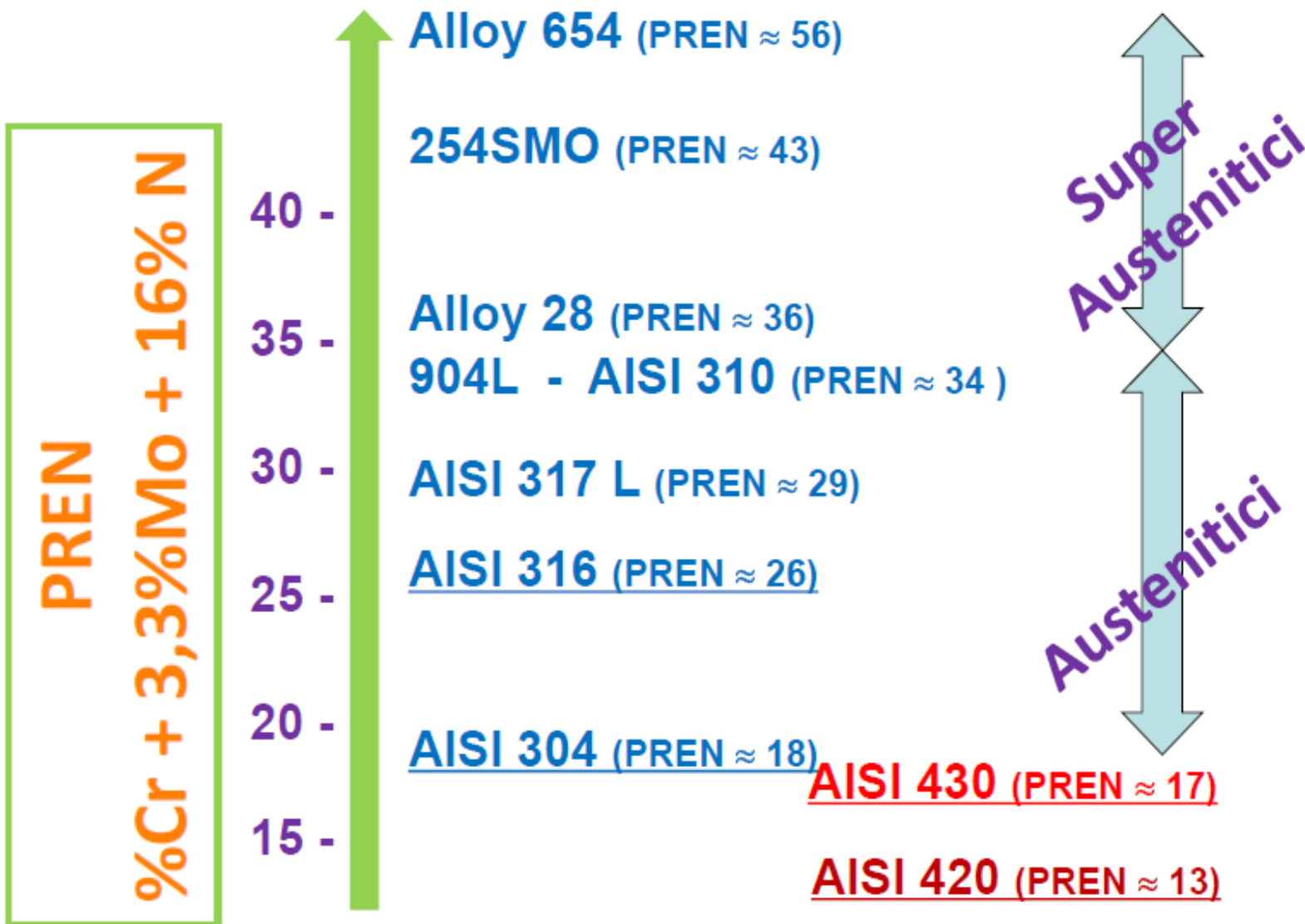
Per ridurre il fenomeno sono nati gli inossidabili austenitici a basso carbonio e gli acciai austenitici stabilizzati Ti o Nb.



Precipitazione dei carburi di cromo in funzione della temperatura di rinvenimento e del contenuto di carbonio.



Resistenza alla corrosione



Acciai inossidabili al manganese

Serie ☹️

- 8-9% Mn 1-2% Ni

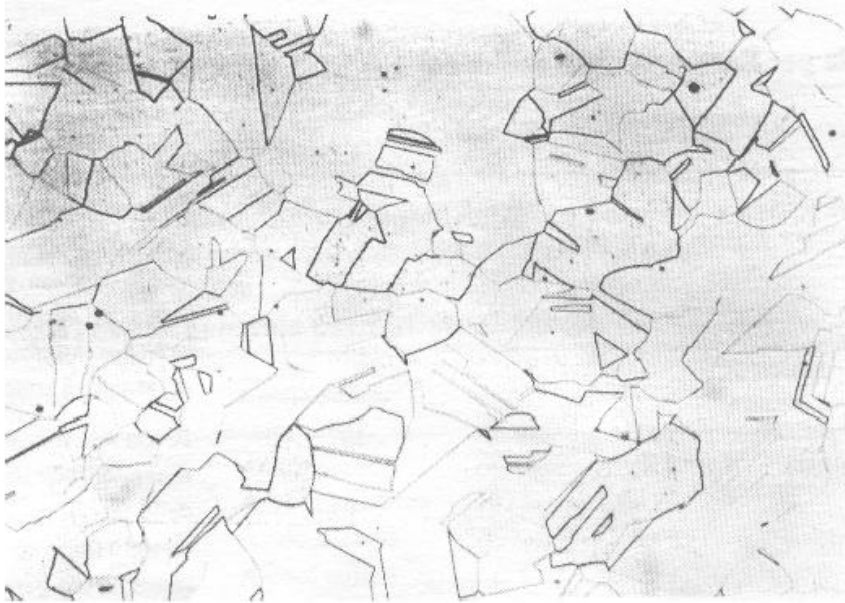
..... UNI EN 10088
202Cu 1.4597

Tipo	%C max	%Cr	%Ni	%Mn	%N	%Cu
204Cu	0,15	16,5	2	8	0,25	2,5
15-3	0,15	15	3	7	0,20	2
14-1	0,15	14	1	9	0,20	2

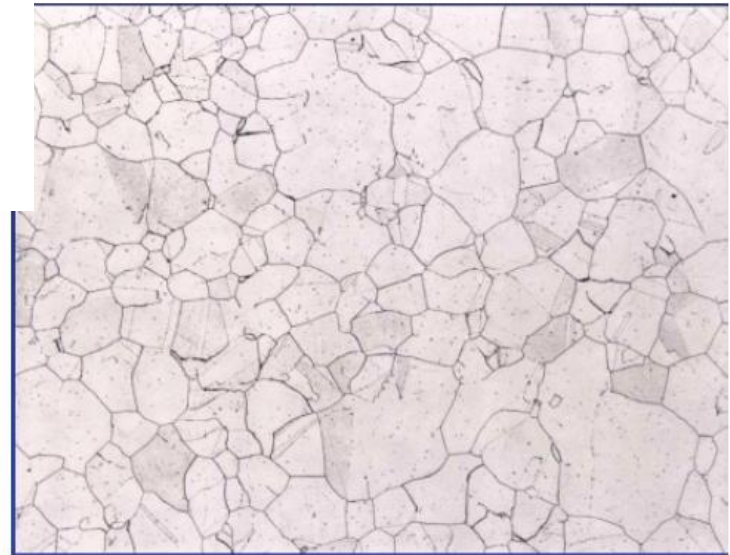
**Resistenza alla corrosione paragonabile al 430
in soluzioni acquose neutre.**

Non adatto in ambienti contaminati da cloruri

**AISI 304 nello stato solubilizzato
(Elettrochimico in acido ossalico)**

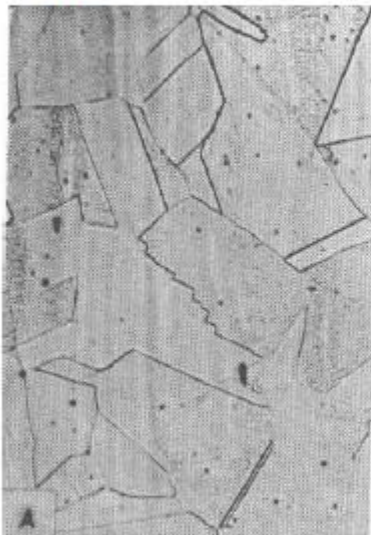


**AISI 304 nello stato solubilizzato
(Kalling)**

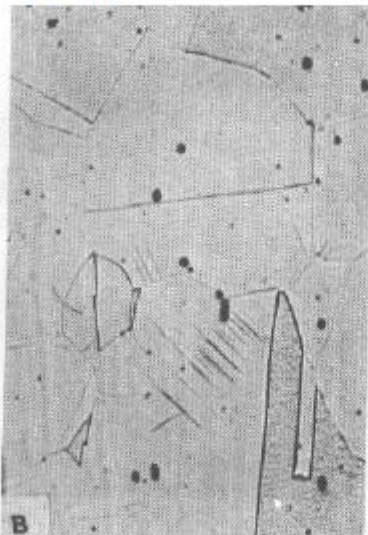


**AISI 304 deformato plasticamente
(Elettrochimico in acido ossalico)**

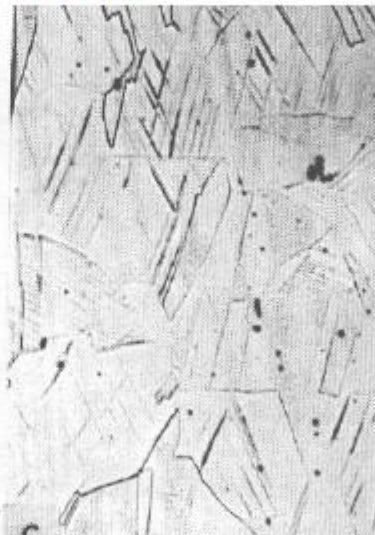
5%



10%



15%

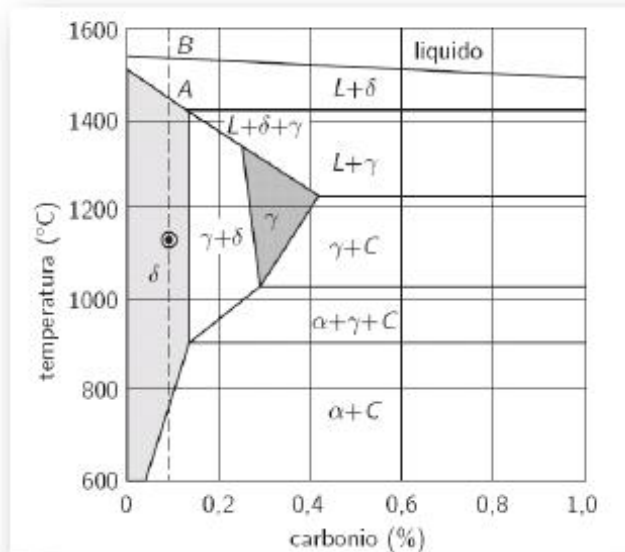


30%



Rs, Rm

AISI 430	X8Cr17	C 0,12%	Cr 17%	-	-
AISI 446	X16Cr26	C 0,02%	Cr 26%	-	N<0,255
AISI 444	X2CrMoNb18	C 0,02%	Cr 17,7%	Mo 2%	Nb Ti



Sezione del diagramma Fe-Cr-C al 18%Cr

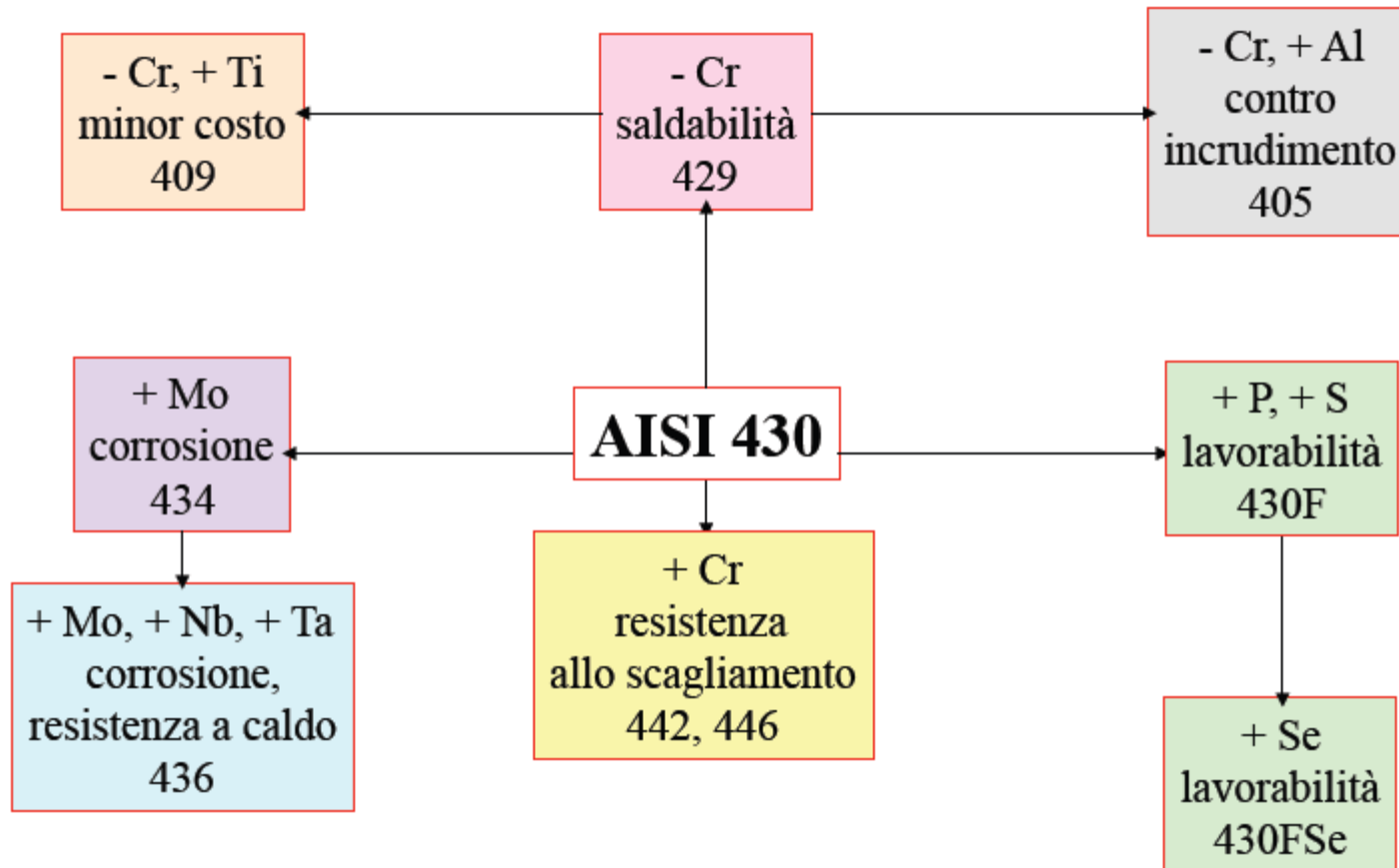
NON hanno punti critici.

Non si possono eseguire trattamenti termici che modifichino le loro proprietà meccaniche .

L'unico trattamento che si esegue è la ricottura di ricristallizzazione a 700°C-800°C per ridurre lo stato di incrudimento dopo lavorazione meccanica a freddo.



Gli acciai inossidabili ferritici



Gli acciai inossidabili sono “inossidabili” perché il loro contenuto di cromo gli conferisce una notevole resistenza alla corrosione. I ferritici, contenenti solo cromo ed eventualmente altri elementi (Mo, Ti, Nb ecc.), non fanno eccezione. I ben noti ferritici 409, 410 e 430 sono facilmente reperibili in ogni parte del mondo. Usati con grande successo in importanti applicazioni, come ad esempio i cestelli delle lavatrici e i sistemi di scarico dei veicoli, hanno in realtà un potenziale applicativo molto più vasto in numerosi campi.

Ferritici sviluppati più recentemente, come il 439 e il 441 soddisfano una gamma ancora più ampia di requisiti. Possono essere formati per dare origine a geometrie più complesse, e uniti usando i più convenzionali metodi di unione, inclusa la saldatura. Grazie all’aggiunta di molibdeno, la resistenza del tipo ferritico 444 alla corrosione localizzata è almeno pari a quella dell’austenitico 316.

Dato che i ferritici non contengono nichel, il loro costo è più basso e più stabile di quello degli acciai inossidabili austenitici. Possono dunque: essere complementari al 304 nell'ambito della famiglia degli acciai inossidabili (sebbene il 304 rimanga un inox versatile e comunemente usato); essere un'alternativa alla serie 200 (offrendo generalmente delle migliori caratteristiche di utilizzo); sostituire altri materiali in molte aree (per esempio acciai al carbonio, Cu, Zn, Al, plastica, ecc.) grazie alle loro caratteristiche tecniche speciali, in virtù del fatto che i motivi che portano a sostituire i materiali sono solitamente legati a benefici tecnici e al costo del ciclo di vita.

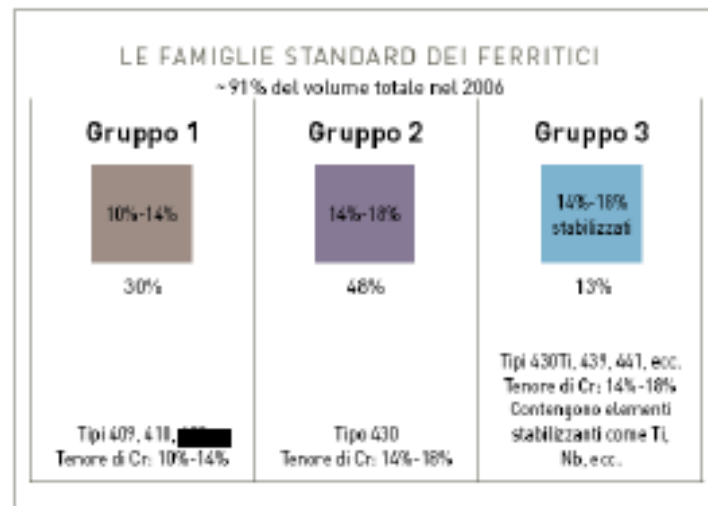


LE FAMIGLIE STANDARD DEI FERRITICI

~ 91% del volume totale nel 2006

Gruppo 1	Gruppo 2	Gruppo 3
10%-14%	14%-18%	14%-18% stabilizzati
30%	48%	13%
Tipi 409, 411, ecc. Tenore di Cr: 10%-14%	Tipo 430 Tenore di Cr: 14%-18%	Tipi 430Ti, 439, 441, ecc. Tenore di Cr: 14%-18% Contengono elementi stabilizzanti come Ti, Nb, ecc.

Il gruppo 2 (tipo 430) è la famiglia dei ferritici maggiormente impiegata. Avendo un più alto contenuto di cromo, i tipi del gruppo 2 mostrano una più alta resistenza alla corrosione e si comportano per lo più come il tipo austenitico 304. In alcune applicazioni, i materiali di questo gruppo sono idonei per sostituire il tipo 304 e sono generalmente di qualità sufficientemente elevata per applicazioni al chiuso. Tipiche applicazioni comprendono i cestelli delle lavatrici, pannelli per interno, ecc. Il tipo 430 sostituisce spesso il 304 negli utensili per la casa, nelle lavastoviglie, in pentole e tegami.



Il gruppo 3 comprende i tipi 430Ti, 439, 441 ecc. Paragonati ai materiali del gruppo 2 questi ferritici offrono migliore saldabilità e lavorabilità. Il loro comportamento, è in alcuni casi, persino migliore di quello degli austenitici tipo 304. Le applicazioni tipiche includono i lavelli, i tubi per gli scambiatori di calore (nell'industria dello zucchero, dell'energia ecc.), i sistemi di scappamento (hanno una vita più lunga rispetto al 409) e le parti saldate delle lavatrici. I tipi del gruppo 3 possono anche sostituire il 304 nelle applicazioni dove quest'ultimo è "sovradimensionato".

LE FAMIGLIE SPECIALI DEI FERRITICI

~ 9% del volume totale nel 2006

Gruppo 4

Aggiunta di
Molibdeno

7%

Tipi 434, 436, 444, ecc.
Tenore di Mo superiore
al 0,5%

Gruppo 5

Altri

2%

Tenore di Cr: 18%-30%
o non appartenenti
a uno degli altri gruppi

Il gruppo 4 comprende i tipi 434, 436, 444 ecc. Questi tipi contengono come elemento di lega il molibdeno, per una maggiore resistenza alla corrosione. Le applicazioni tipiche comprendono i serbatoi dell'acqua calda, gli scaldacqua solari, le parti visibili dei sistemi di scarico, il bollitore elettrico ed elementi del forno a microonde, le finizioni automobilistiche, i pannelli esterni ecc. Il livello della resistenza alla corrosione del tipo 444 può essere comparato a quello del tipo 316.

Fra le storie di successo degli acciai inossidabili ferritici, spiccano due applicazioni tipiche ed estremamente impegnative. Per anni, i ferritici sono stati usati molto diffusamente in due applicazioni estremamente impegnative: i sistemi di scarico automobilistici e i cestelli delle lavatrici.



I sistemi di scarico sono sottoposti ad alte temperature e a condizioni ambientali corrosive. L'uso di acciai inossidabili (ferritici) rende possibile estendere il periodo di garanzia di queste parti. I cestelli delle lavatrici hanno a che fare con detergenti e un ambiente di fatto costantemente umido. In questo contesto, ad ogni modo, una corrosione localizzata sarebbe completamente inammissibile.

GLI ASSI NELLA MANICA DEI FERRITICI

- I ferritici sono **magnetici**.
- I ferritici hanno **bassa dilatazione termica** (si dilatano meno degli austenitici quando sono scaldati).
- I ferritici hanno **eccellente resistenza all'ossidazione alle alte temperature** (sono meno inclini alla formazione di scaglie degli austenitici).
- I ferritici hanno **alta conduttività termica** (conducono il calore molto più omogeneamente degli austenitici).
- I ferritici stabilizzati con niobio hanno **eccellente resistenza al "creep" (scorrimento viscoso a caldo)** (si deformano meno degli austenitici in risposta agli sforzi a lungo termine).

I ferritici del **Gruppo 1** sono più appropriati a condizioni di esercizio non severe, come ad esempio dentro la casa (dove il materiale non è esposto al contatto con l'acqua o viene regolarmente pulito) o all'esterno laddove sia tollerata un po' di corrosione superficiale. In tali contesti questo gruppo di ferritici ha una vita più lunga dell'acciaio al carbonio.

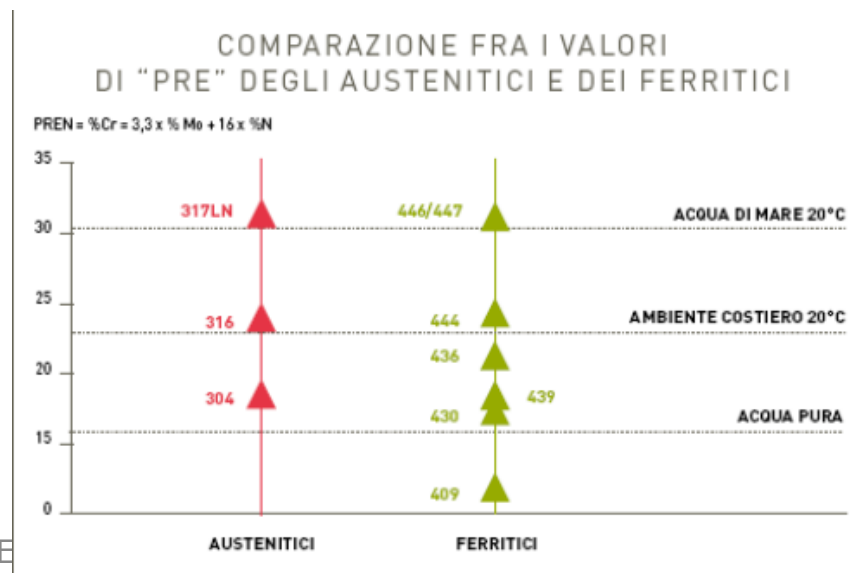
Quelli del **Gruppo 2** sono efficaci in contesti che implicano un contatto saltuario con l'acqua, in condizioni non severe.

Quelli del **Gruppo 3** sono adatti per contesti simili a quelli appropriati per le categorie del gruppo 2, ma sono più facili da saldare.

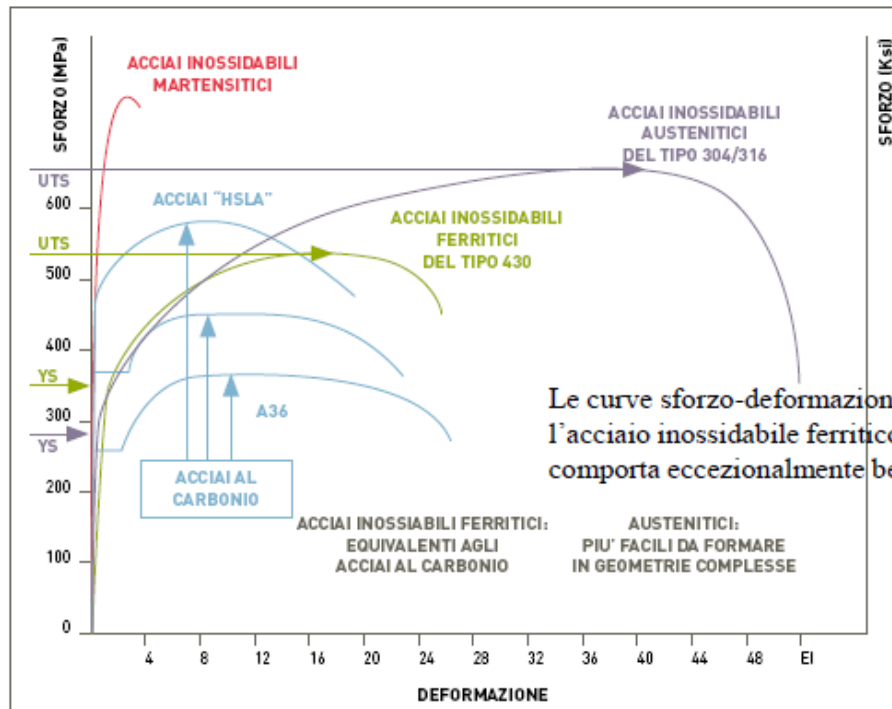
I ferritici del **Gruppo 4** sono più resistenti alla corrosione del 304 e sono adatti ad un'ampia varietà di usi.

Il **Gruppo 5** include, per esempio, tipi con un alto contenuto di cromo, circa il 29%, più il 4% di molibdeno che li rende resistenti alla corrosione in acqua marina come il titanio.

Il "PRE" o indice di resistenza al pitting è una misura della resistenza relativa alla corrosione per pitting degli acciai inossidabili in un ambiente contenente cloruri. Più alto è il valore di PRE, maggiore sarà la resistenza alla corrosione.



PROPRIETA' MECCANICHE



Le curve sforzo-deformazione mostrano chiaramente che sebbene l'acciaio inossidabile ferritico 430 abbia i suoi limiti, comunque si comporta eccezionalmente bene all'interno di quei limiti.

UTS si misura in MPa ($1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2 = 145 \text{ PSI} = 0,1 \text{ Kg/mm}^2$) e rappresenta il carico di rottura. YS (carico di snervamento) indica l'inizio della fase plastica, quando l'allungamento non scompare più dopo la rimozione del carico applicato.

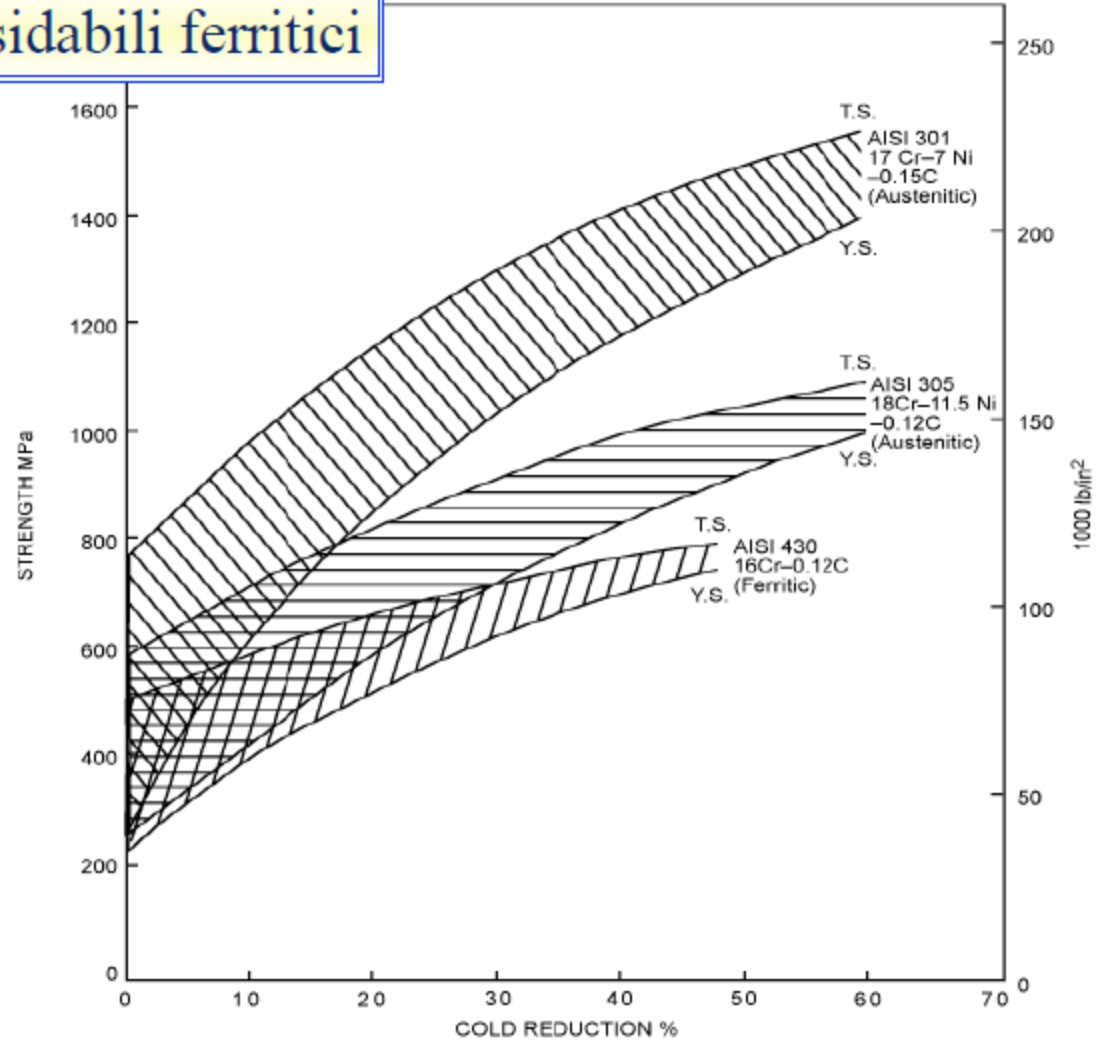
iente
one e

buon comportamento di
allungamento totale, essi offrono
una buona duttilità.



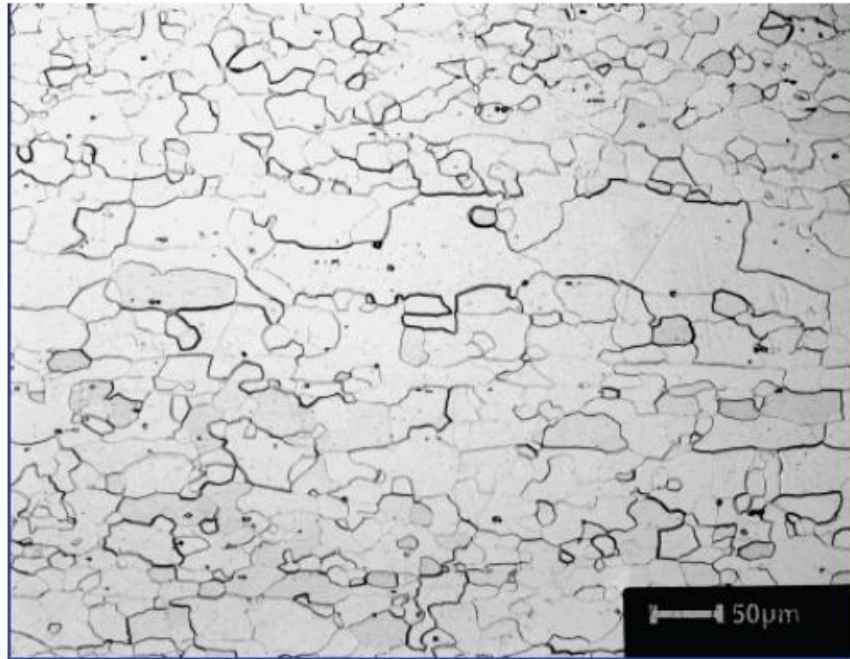
Gli acciai inossidabili ferritici

Confronto
tra le caratteristiche
meccaniche
di acciai inossidabili
austenitici e ferritici,
al variare
del grado
di incrudimento



Gli acciai inossidabili ferritici: note sulla resistenza a corrosione

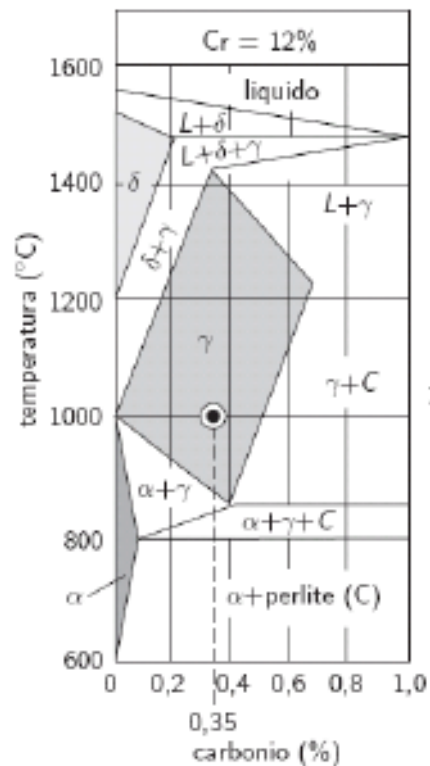
- Acciai ferritici al molibdeno: resistenza alla corrosione simile ad AISI 316, ma migliori di molti acciai austenitici in termini di tensocorrosione.
- In ambienti contenenti cloruri (acqua marina), S44635 (25Cr 4Ni 4Mo).
- Alto contenuto di cromo: buone caratteristiche alle alte temperature
- Possibile precipitazione della fase sigma (infragilente) nell'intervallo 550-950°C
- AISI 446 (27% cromo): temperatura di scagliamento in aria di circa 1070°C



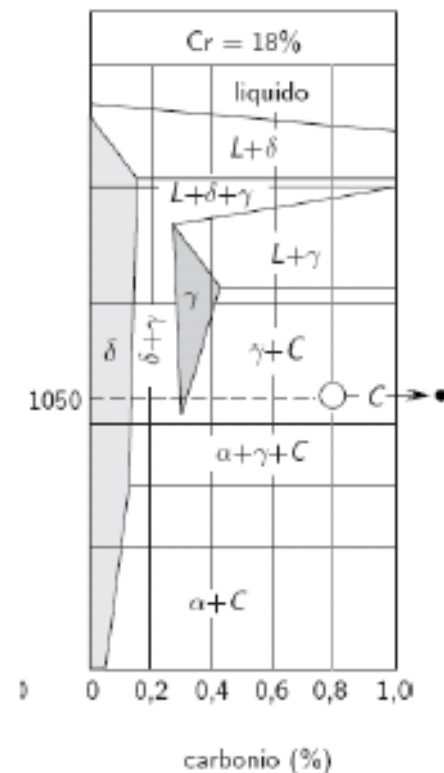
AISI 409 (Vilella)
<0.08% C; 11.2% Cr; 0.5% Ni + Ti

martensitici

<i>AISI 420</i>	<i>X30Cr13</i>	<i>C 0,3%</i>	<i>Cr13%</i>
<i>AISI 440</i>	<i>X85Cr17</i>	<i>C 0,85%</i>	<i>Cr17%</i>

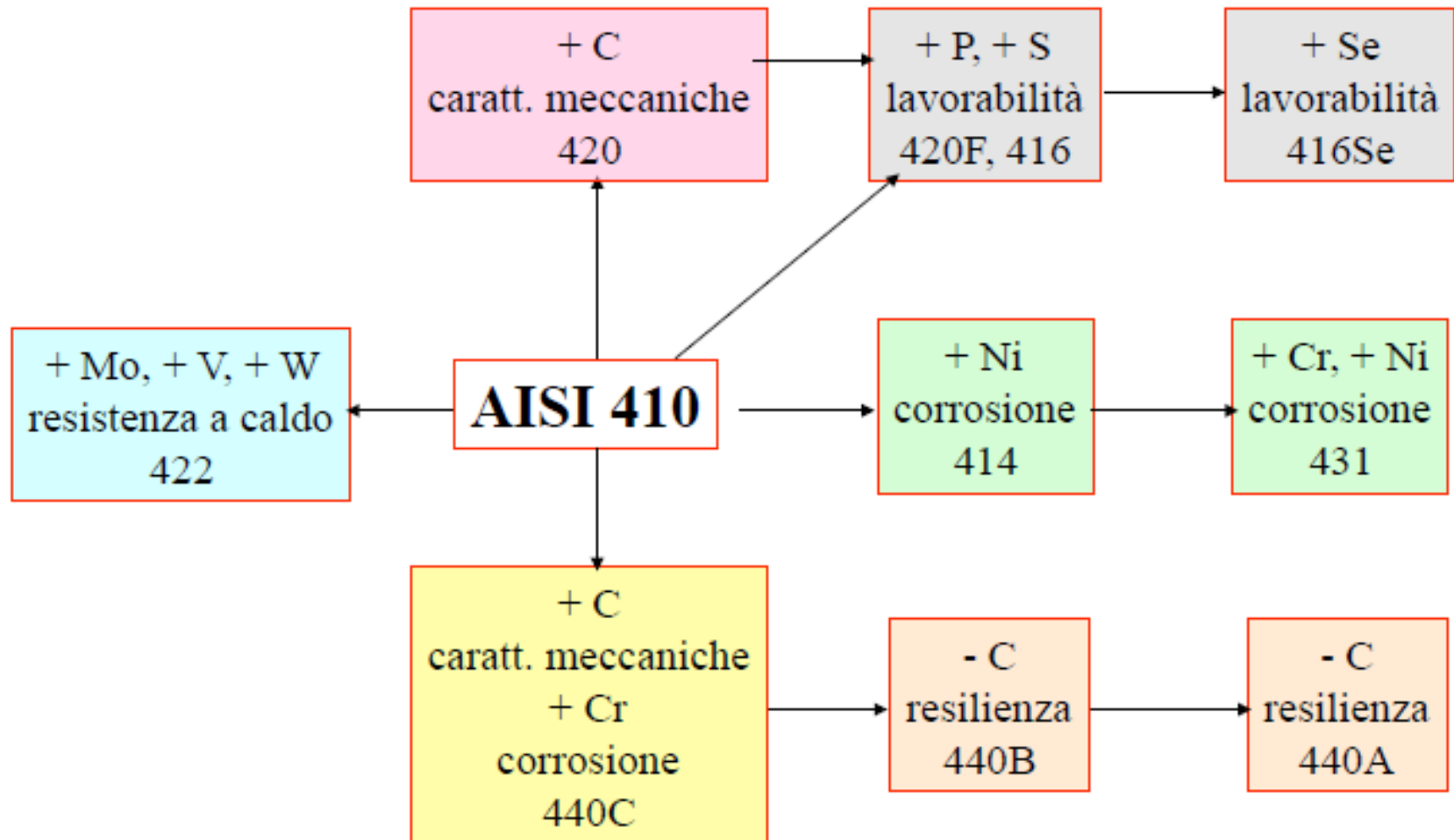


**Sezione del diagramma
Fe-Cr-C al 12%Cr**



**Sezione del diagramma
Fe-Cr-C al 18%Cr**

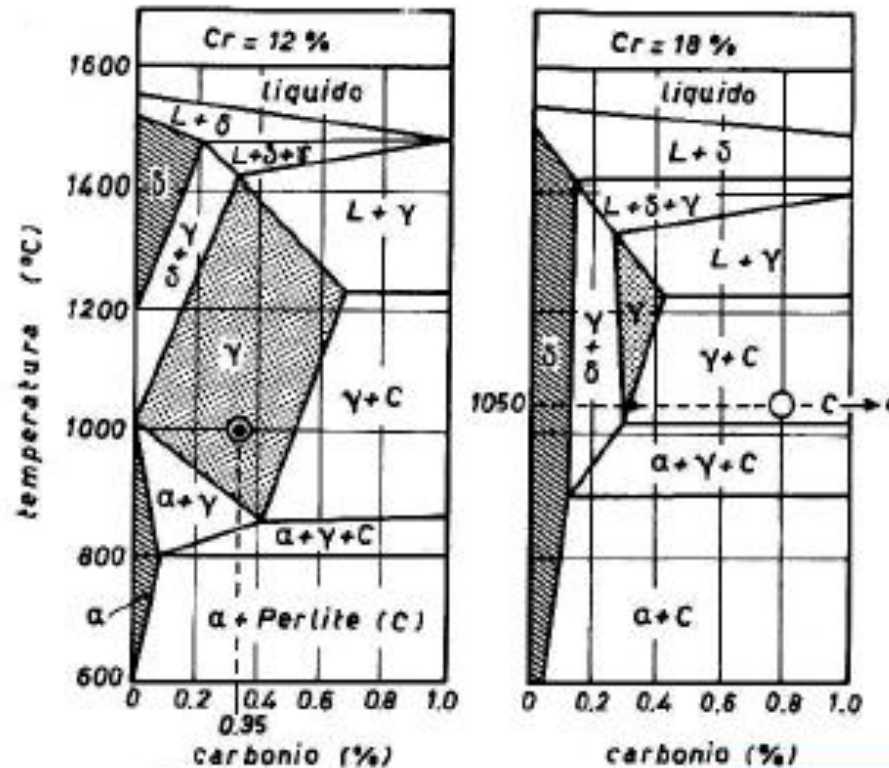
Gli acciai inossidabili martensitici



Acciai inossidabili Martensitici

Leghe Fe-Cr-C:

- Cr tra 11-18%,
- punti di trasformazione A_1 $A_3 \Rightarrow$ riscaldamento in campo austenitico $\Rightarrow$ martensite al raffreddamento.

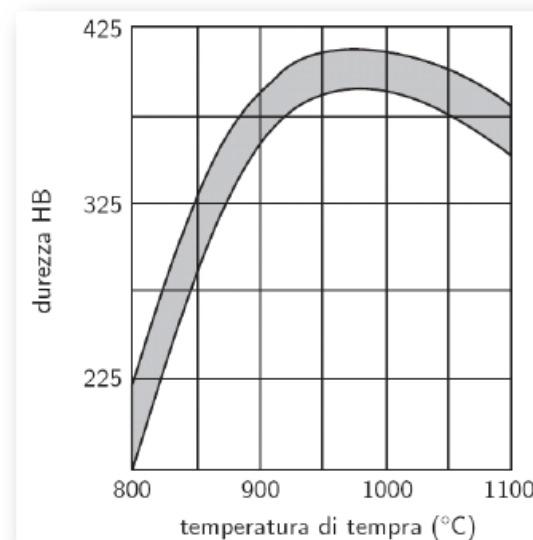


Sezioni longitudinali dei diagrammi ternari corrispondenti a: a) Cr = 12%; b) Cr = 18%.

<i>Materiale</i>	<i>Tempra in olio o in aria</i>	<i>Rinvenimento</i>	<i>Distensione</i>
<i>AISI 420</i>	<i>950-1000</i>	<i>600-650</i>	<i>210-370</i>
<i>AISI 440</i>	<i>1010-1070</i>	<i>-</i>	<i>150-430</i>

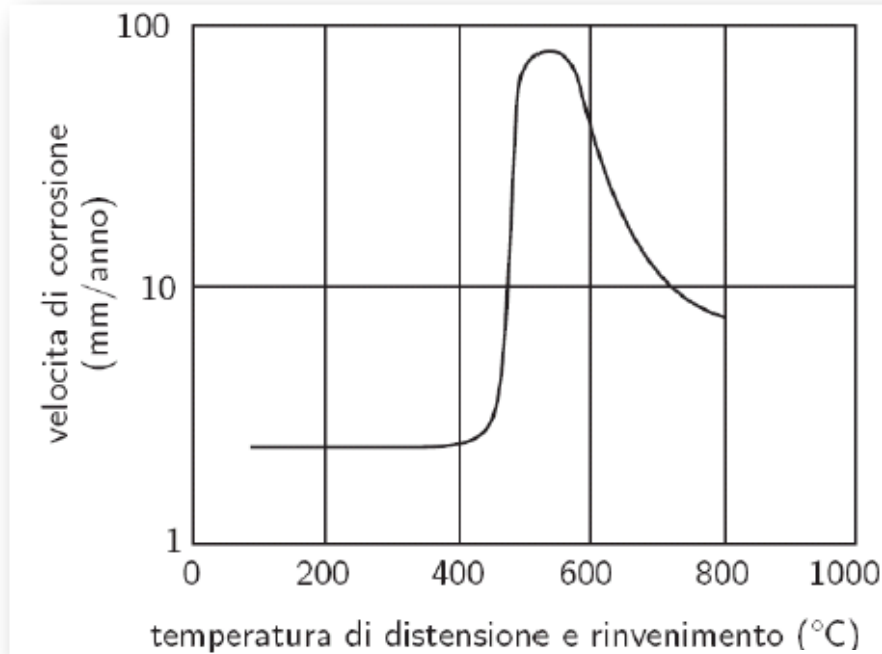
La tempra può avvenire con spegnimento in aria, perché in realtà questi acciai sono autotemperanti.

Temperatura di austenitizzazione e durezza finale del pezzo di per acciai martensitici del tipo AISI 410

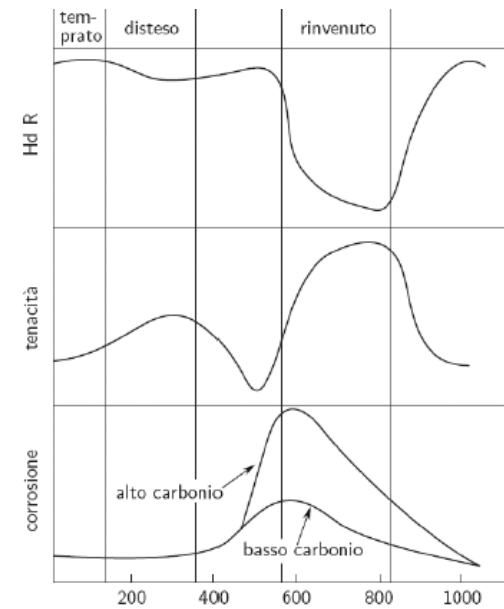


META
MEATLLUR

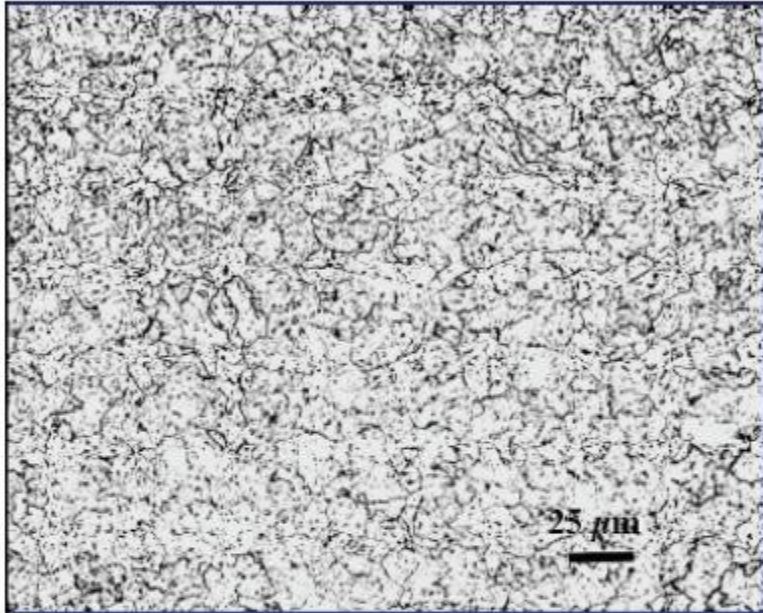
*Dipendenza della velocità di corrosione dalla T di distensione
per l'acciaio AISI 410*



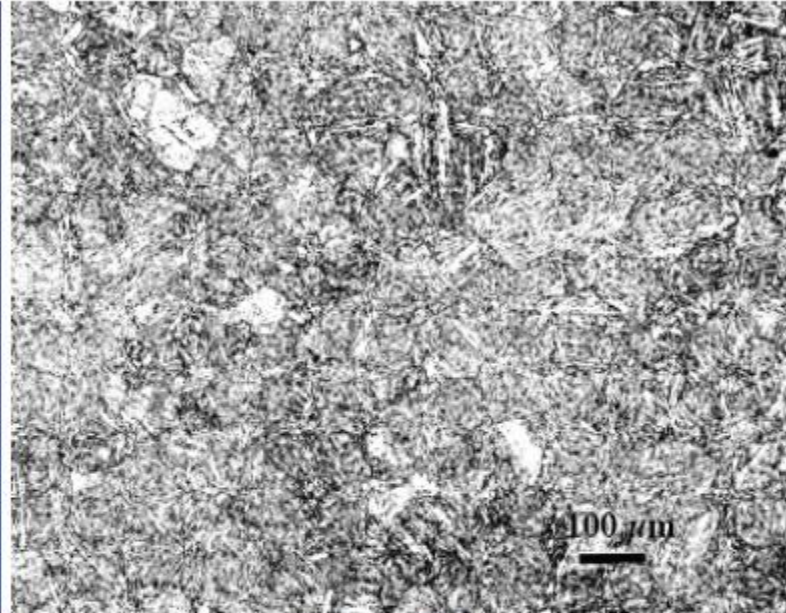
*Caratteristiche di
durezza tenacità e
corrosione relative ad un
componente allo stato
temprato, disteso e
rinvenuto.*



MICROSTRUTTURA



stato ricotto



stato bonificato

AISI 410 (Vilella)
0.15% C; 12.25% Cr; <0.6% Ni

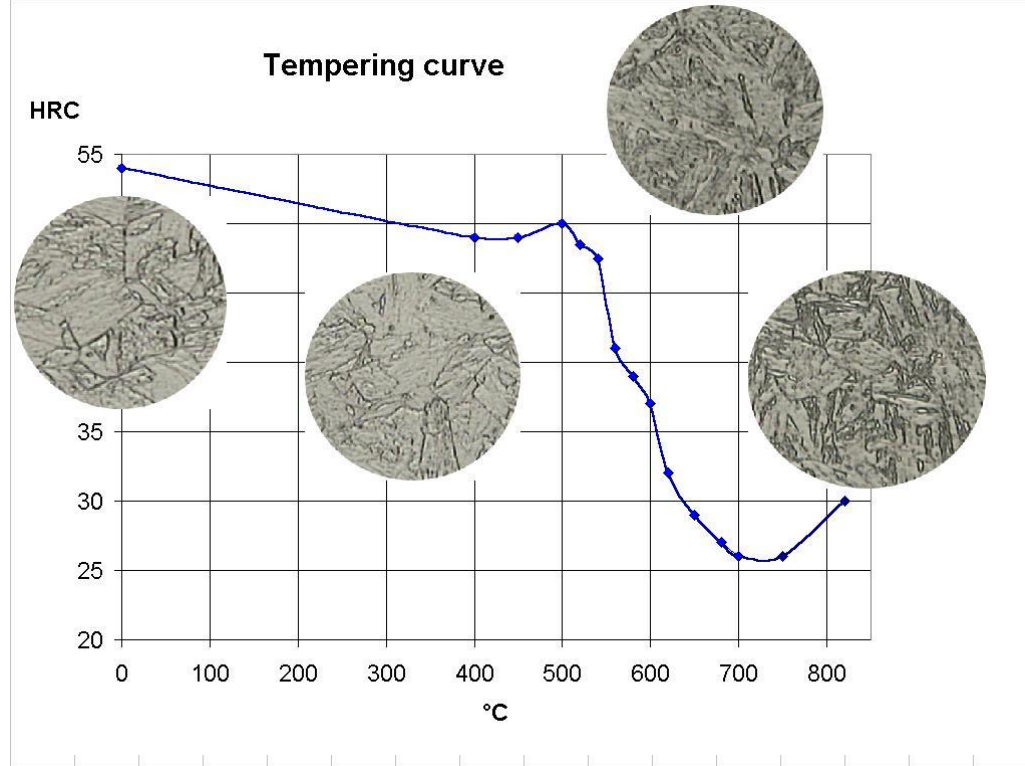
MECHANICAL CHARACTERISTICS

HARDNESS AFTER HARDENING TREATMENT (OIL QUENCH):

	950°C	1000°C	1050°C	1100°C	1150°C
HRC	49.5	53.5	54.0	52	50

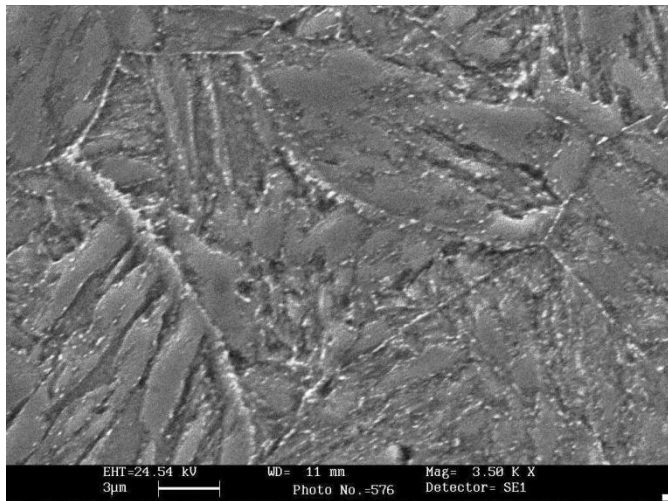
TENSILE AND IMPACT VALUES AFTER HARDENING AND TEMPERING:

Hardening	Tempering	Rm (N/mm ²)	Rp _{0.2} (N/mm ²)	E %	RA %	KV at RT (J)	KV at -20°C (J)
1050°C	620°C	1010	820	15	43	50	23
1050°C	680°C	920	680	22	57	70	30
1050°C	750°C	870	550	24	57	75	
1150°C	650°C					45	21

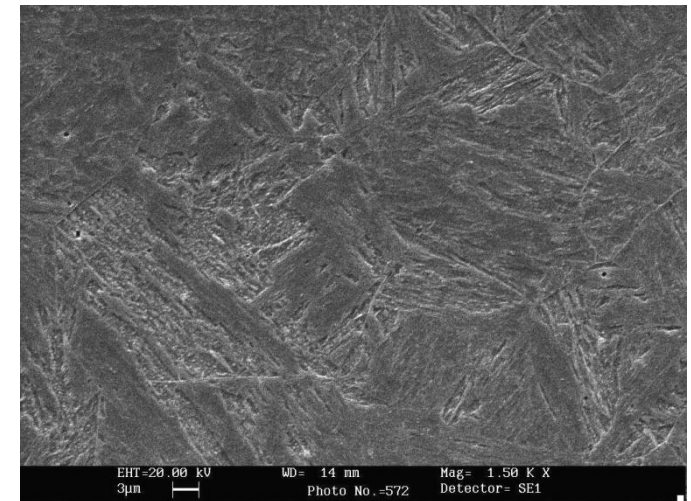


AFTER HARDENING AND TEMPERING:

- GRAIN-BOUNDARY CARBIDES ARE WELL DEFINED
- $M_{23}C_6$ TYPE
- RETAINED AUSTENITE WAS NOT DETECTED

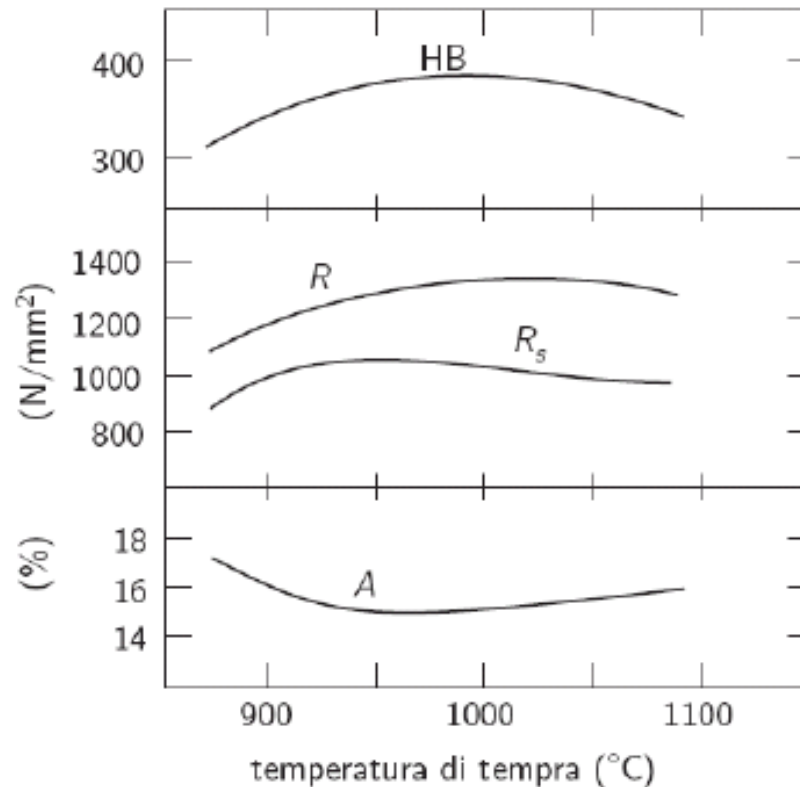


SEM IMAGE AFTER TEMPERING AT 650°C



SEM IMAGE AFTER TEMPERING AT 400°C

*Effetto delle
temperature di tempra
sulle caratteristiche
meccaniche di un
acciaio inossidabile
AISI 410 (distensione
260°C)*



Acciai Inox PH: Austenitici

ACCIAIO A286 AISI 660

✓ Impiego → Bulloni per impiego a
 $T=700^{\circ}\text{C}$ e oltre



✓ Composizione tipica:

Cr = 14 Ni = 25 Ti = 2,2 Al = 0,2

✓ Precipitazione γ' :

Ni_3Ti $\text{Ni}_3(\text{TiAl})$

PH AUSTENITICI

Trattamento termico AISI 660

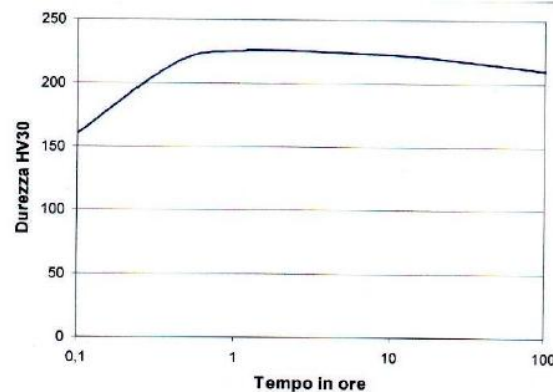
SOLUBILIZZAZIONE
 980°C



ACQUA



INVECCHIAMENTO
 $720^{\circ}\text{C} \times 16 \text{ ORE}$



Caratteristiche ad alta
temperatura:

Temp.	Rm N/mm ²	KV Joule
20°C	1150	73
540°C	900	64
700°C	590	53

PH MARTENSITICI

ACCIAIO 17-4 PH AISI 630

✓ Impiego → Assi portaelica, alberi di pompe, parti di aerei

✓ Precipitazione Cu

✓ Caratteristiche meccaniche elevatissime



Trattamento termico Acciaio 17-4 PH

SOLUBILIZZAZIONE
1040°C



ACQUA



RINVENIMENTO
480-620°C x1-4 ORE

Effetto del tempo di rinvenimento
(invecchiamento) sulla durezza del
17-4PH

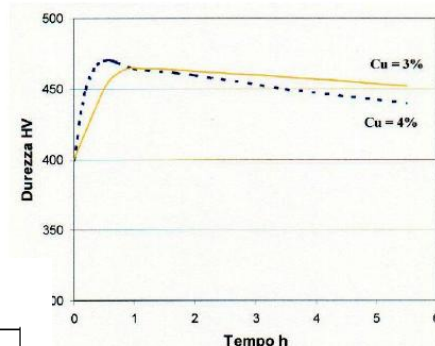


Tabella 5.6 (da Nicodemi, p.145,149) – Composizione nominale e caratteristiche meccaniche di acciai inox PH.

Sigla	Tipo	Composizione, % in peso					Trattamento termico	Caratteristiche meccaniche			
		C	Cr	Ni	Mo	Altri		σ_R , MPa	σ_S , MPa	A, %	HRC
17-4PH	martensitico	0.07	16.25	4.0	-	Nb; Cu=4	Solub. 1035°C	1050	770	12	-
							Solub. 1035°C + 1 h a 480°C	1350	1250	10	40
17-10P	austenitico	0.15	17.0	10.75	-	P=0.25 ca.	Solub. 1120°C	620	260	70	-
							Solub. 1035°C + 24 h a 700°C	960	610	25	30
17-7PH	semi-austenitico	0.09	17.0	7.1	-	Al	Solub. 1065°C	910	280	30	-
							Solub. 1035°C + 1.5 h a 760°C	100	700	9	-

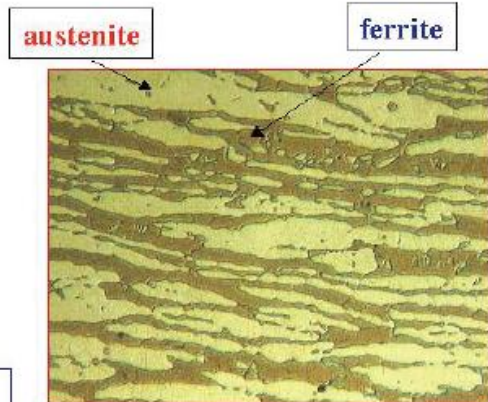
Gli acciai inossidabili duplex

Analisi chimica
+
Processo
+
Trattamento
Termico

Struttura
bilanciata
Austenite-Ferrite

Eccellente combinazione
di resistenza meccanica
e alla corrosione

Componenti strutturali
per svariati settori industriali



La produzione di questi acciai bifasici è stata indotta dall'osservazione secondo cui un acciaio con struttura completamente ferritica è più resistente alla corrosione sotto sforzo ma più vulnerabile alla corrosione generalizzata di un acciaio con struttura completamente austenitica, il quale a sua volta è più resistente alla corrosione generalizzata ma più vulnerabile alla corrosione sotto sforzo di un acciaio con struttura completamente ferritica.

I risultati migliori sono stati ottenuti con materiali la cui struttura è costituita di ferrite e di austenite in % circa uguali, realizzata bilanciando opportunamente nella composizione le quantità di elementi di lega α -geni (Cr, Mo) e γ -geni (Ni).



Gli acciai inossidabili duplex

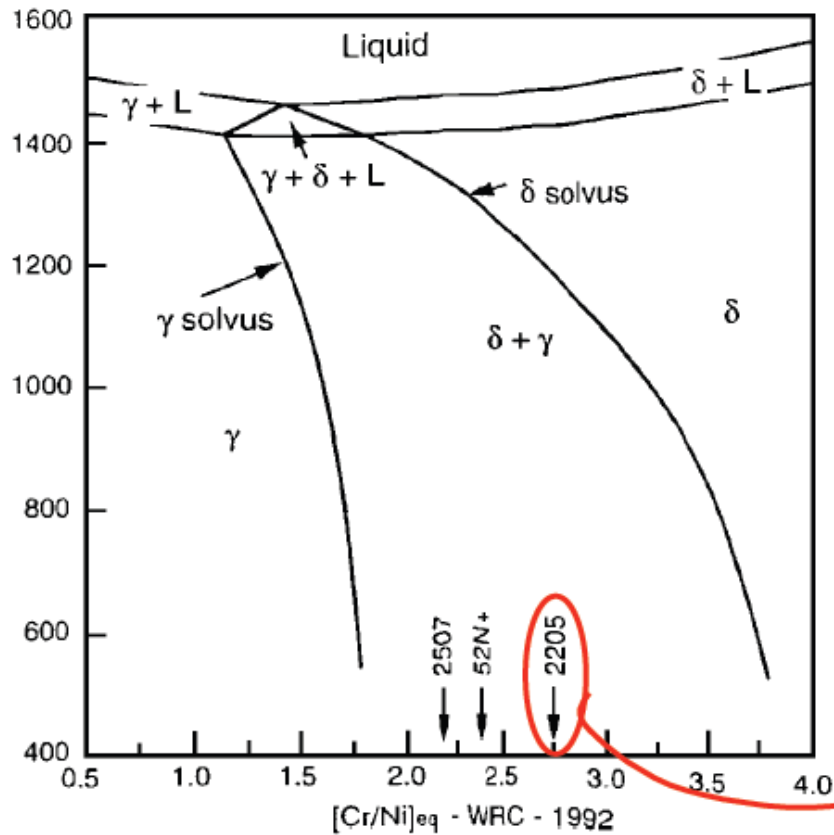
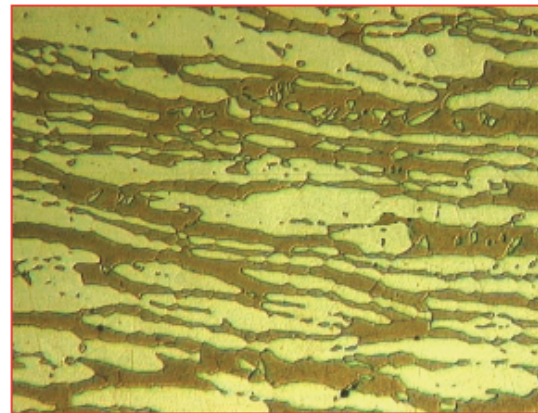


Diagramma pseudo-binario
di equilibrio
[WRC-92]

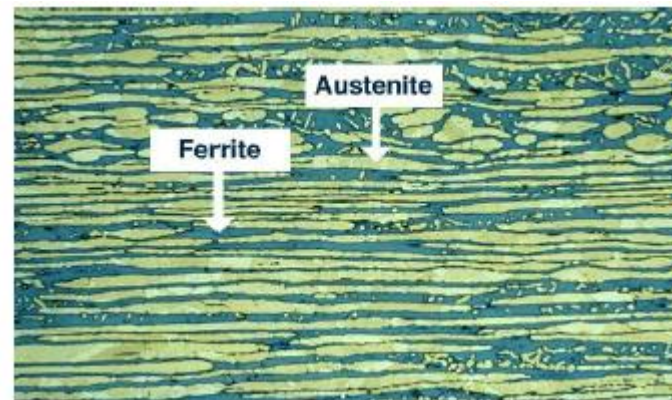


Effetto degli elementi di lega

Tipo	%C max	%Cr	%Ni	%Mo	%N
304	0,07	18	8	---	0,10
2304	0,03	23	4	---	0,15
2205	0,03	22	5	3	0,20
2507	0,03	25	7	4	0,30

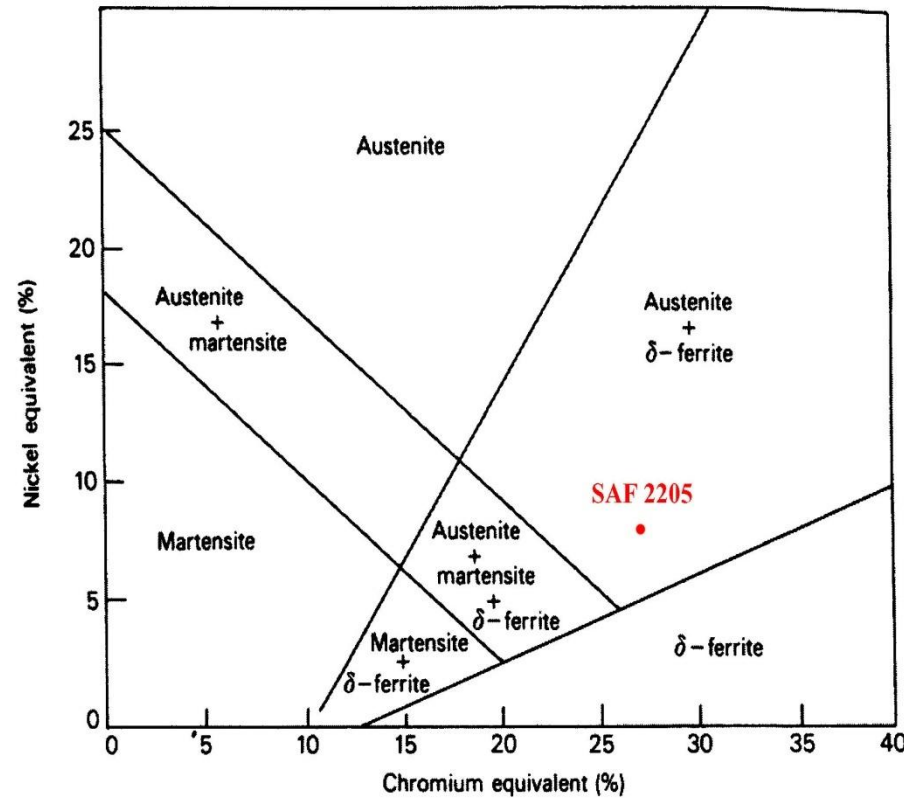
UNI EN 10088

2304 TM	1.4362
2205	1.4462
2507 TM	1.4410



$$PREW: \%Cr + 3.3 [\%Mo + 0.5 * \%W] + 16 * \%N$$

- Bifasici (Ferrite ed Austenite)
- Alta resistenza a corrosione (*pitting*, *SCC*, *intergranulare*)
- Alto carico di snervamento
- Buona tenacità fino a -50°C
- Costo comparabile con gli Inox Austenitici



- SAF 2205 costituisce $\approx 80\%$ dei Duplex

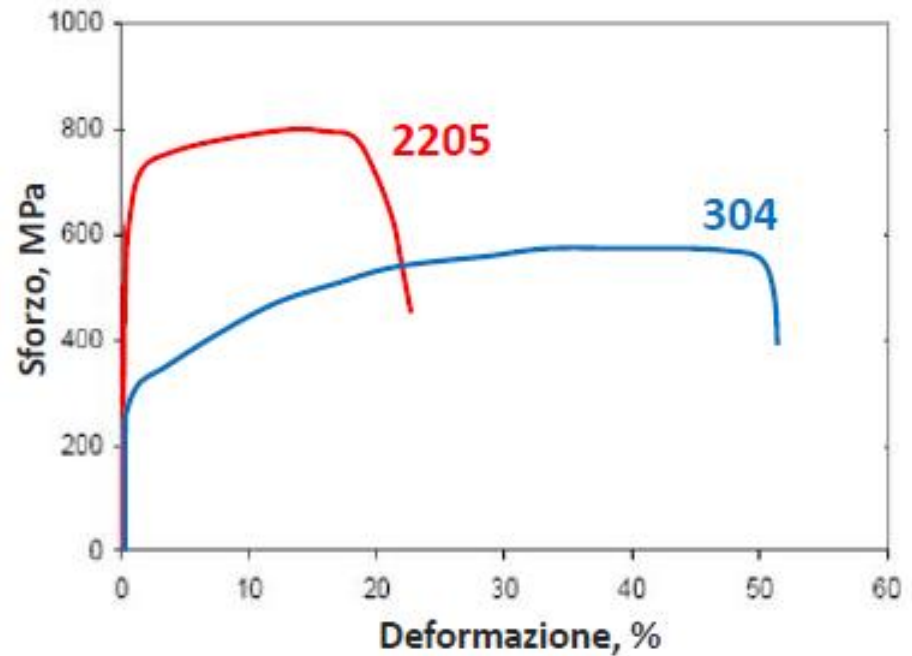
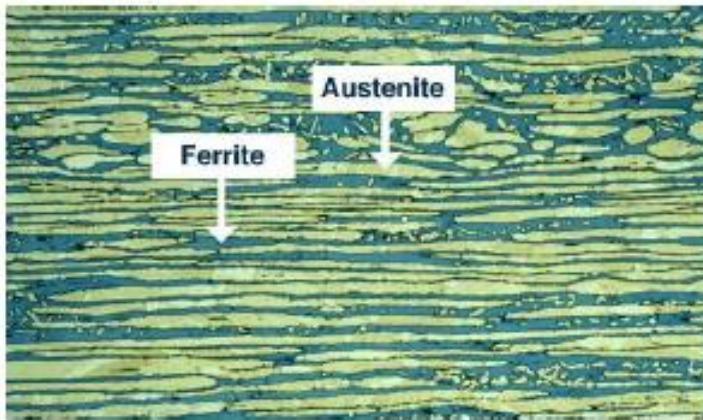
<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Mo</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>N</i>	<i>Fe</i>
0.03	0.56	1.46	22.75	5.04	3.19	0.025	0.002	0.16	Bal.

Acciai inossidabili duplex

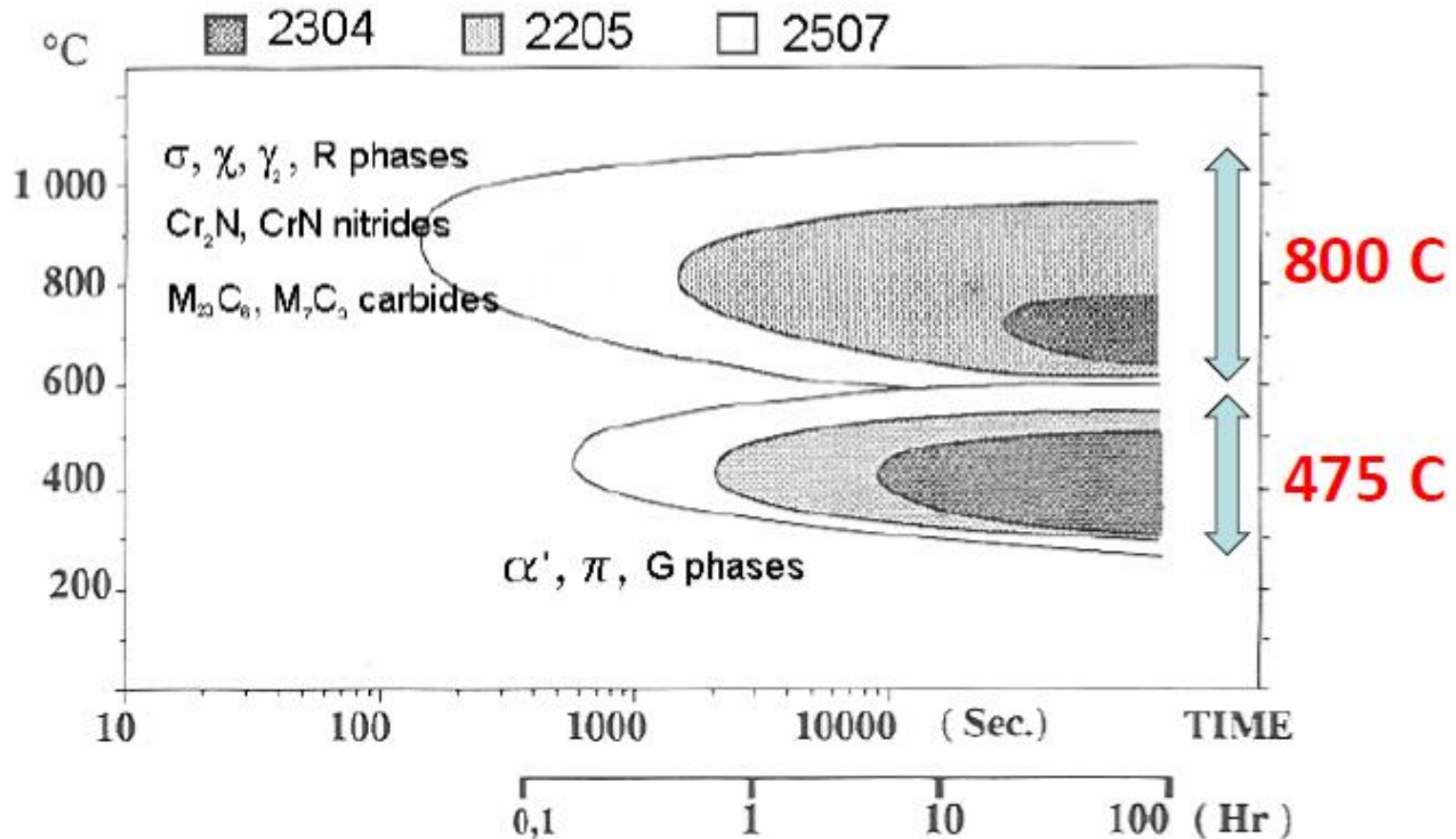
Proprietà meccaniche

- $R_m = 600-800 \text{ MPa}$
- $R_{p0.2} = 400-550 \text{ MPa}$
- $A_5 \geq 25\%$

Tipo	$R_{p0.2}$
304	220 MPa
2205	450 MPa



Acciai inossidabili bifasici



Solubilizzazione a 1150 C poi in H_2O



Figure 7: Detail showing locations of ATI 2102[®] LDSS and Type 304L.

4. Conclusions

ATI 2102 LDSS pipes have been used in place of Type 304L pipes for a portion of a pumping station at the Talking Water Gardens water reclamation project in Albany, Oregon, USA. The potential for elevated chloride content in the treated wastewater could result in a challenging environment for these alloys, and the performance of the pipes will be monitored closely during service, as will variations in the quality of the water flowing through them. At selected intervals during service, test spools consisting of Type 304L pipe welded to ATI 2102 pipe will be removed from service and examined for signs of corrosion or any other deterioration that may have occurred. The results of those characterizations will serve as the basis for a future paper.



2404 used in water gates to regulate the river through Gotemburg.



2507 used in Offshore seawater piping systems. Thanks to high strength and chloride resistance.



2906 especially designed for Urea applications



2101 used in Storage tank for a variety of media. Mechanical strength and good resistance in general being the reason for selection



2304 used in a pedestrian bridge



Figure 12. The great Casablanca mosque; more than 1500 tons of DSS rebar (2205 DSS).



Figure 9. Pulp and paper 2205 digesters at Potlatch, USA manufactured with Industeel 2205 plates³.

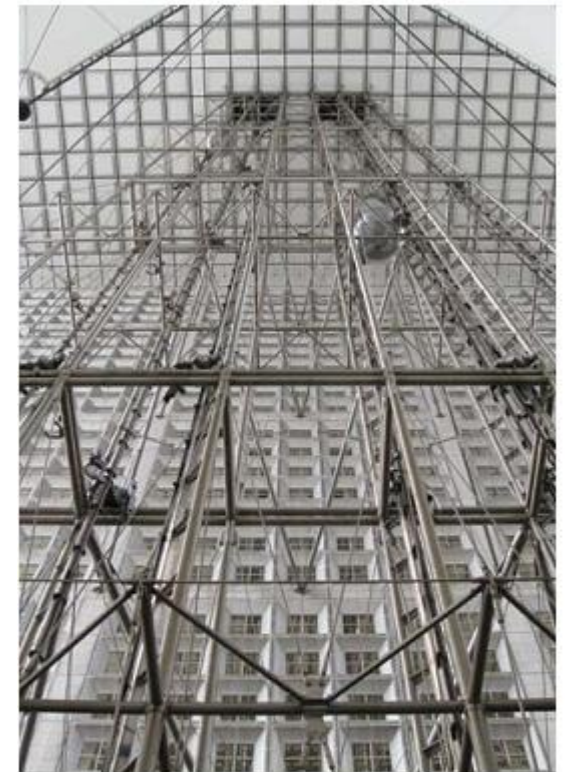


Figure 10. Paris, 'Arche de la Defense' elevator, made of 2205 DSS². Photo Tomtom24, Wikimedia Commons.

Duplex for desalination plants



Fig. 3. MSF evaporators made of solid duplex stainless steel, 2205, for Melittah (left) and Skikda (Courtesy of Reggiane and Aquatech respectively).