

POLITECNICO DI MILANO



DIPARTIMENTO DI
MECCANICA

Marco Boniardi e Andrea Casaroli

Gli acciai inossidabili



Gruppo Lucefin
Research & Development

GRUPPO



LUCEFIN
Lovin' Steel

INDICE

1. Cosa sono gli acciai inossidabili.....pag. 5
2. L'albero degli acciai inossidabili.....pag. 8
3. Metallurgia degli acciai inossidabili.....pag. 10
 - 3.1. Ferro-Cromo
 - 3.2. Ferro-Nichel
 - 3.3. Ferro-Cromo.Nichel
 - 3.4. Gli altri elementi di lega
 - 3.5. Il diagramma di Schaeffler e il diagramma di De Long
4. La normativa degli acciai inossidabili.....pag. 21
5. Cenni al mercato degli acciai inossidabili.....pag. 22
6. Acciai inossidabili martensitici.....pag. 24
 - 6.1. Metallurgia
 - 6.2. Trattamenti termici
 - 6.3. Proprietà fisiche e meccaniche
 - 6.4. Tipi ed applicazioni
7. Acciai inossidabili ferritici.....pag. 39
 - 7.1. Metallurgia
 - 7.2. Trattamenti termici
 - 7.3. Proprietà fisiche e meccaniche
 - 7.4. Tipi ed applicazioni
8. Acciai inossidabili austenitici.....pag. 54
 - 8.1. Metallurgia
 - 8.2. Trattamenti termici
 - 8.3. Proprietà fisiche e meccaniche
 - 8.4. Tipi ed applicazioni



9. Acciai inossidabili austeno-ferritici.....	pag. 70
9.1. Metallurgia	
9.2. Trattamenti termici	
9.3. Proprietà fisiche e meccaniche	
9.4. Tipi ed applicazioni	
10. Acciai inossidabili indurenti per precipitazione.....	pag. 76
10.1. Metallurgia	
10.2. Trattamenti termici, proprietà fisiche e meccaniche	
10.3. Tipi ed applicazioni	
11. La corrosione degli acciai inossidabili.....	pag. 82
11.1. Introduzione	
11.2. La corrosione a umido o corrosione elettrochimica	
11.3. Le curve potenziodinamiche	
11.4. La corrosione a umido degli acciai inossidabili	
11.5. La resistenza alla corrosione degli acciai inossidabili	
12. La morfologia della corrosione degli acciai inossidabili.....	pag. 96
12.1. Introduzione	
12.2. Corrosione uniforme o generalizzata	
12.3. Corrosione galvanica	
12.4. Corrosione per vaiolatura o <i>Pitting</i>	
12.5. Corrosione in fessura o <i>Crevice</i>	
12.6. Corrosione intergranulare	
12.7. Corrosione sotto tensione o <i>Stress Corrosion Cracking (SCC)</i>	
13. La corrosione a caldo degli acciai inossidabili.....	pag. 119
Consigli bibliografici.....	pag. 123
Bibliografia.....	pag. 124
Appendice 1 – Microstrutture e forme di corrosione degli acciai inossidabili.....	pag. 129
Appendice 2 – Schede tecniche degli acciai inossidabili Lucefin S.p.A.....	pag. 155





1. COSA SONO GLI ACCIAI INOSSIDABILI

Gli acciai inossidabili sono leghe base ferro contenenti un tenore rilevante di cromo; in molti casi, oltre al cromo, vengono volutamente aggiunti anche altri particolari elementi chimici quali il nichel e il molibdeno. La principale caratteristica di questa famiglia di acciai è la resistenza alla corrosione a umido, o corrosione elettrochimica, in ambienti aggressivi quali acque dolci, acqua di mare, soluzione acquose contaminate, ambienti acidi e basici, atmosfere industriali, ecc.; un'ulteriore e importante caratteristica di questa famiglia di acciai è la resistenza all'ossidazione ad alta temperatura, o corrosione chimica, come tipicamente si manifesta nei gas caldi di processo.

I tipici ambiti di impiego degli acciai inossidabili sono legati all'industria chimica, petrolchimica, alimentare e della fabbricazione della carta, al settore farmaceutico, biomedicale e dei trasporti, alle strutture *off-shore*, agli elettrodomestici, alle applicazioni per l'edilizia e l'arredo urbano.

Ai sensi della normativa europea EN-10088, un acciaio è considerato inossidabile quando è presente nella sua composizione chimica un tenore minimo di cromo di 10,5%. Si noti, tuttavia, che nella quasi totalità degli acciai inossidabili presenti sul mercato, il tenore di cromo è ben maggiore della soglia sopraindicata, attestandosi, per i tipi più comuni, a valori compresi tra il 13% e il 18%: all'atto pratico, infatti, è necessario un tenore di almeno il 12% di cromo per avere una discreta resistenza alla corrosione in soluzioni acquose. La presenza di cromo in lega garantisce la possibilità di formare sulla superficie dell'acciaio una sottilissima pellicola (chiamata anche film passivo), costituita prevalentemente da ossidi ed idrossidi di cromo di tipo Cr_2O_3 e $\text{Cr}(\text{OH})_3$: tale pellicola è insolubile, compatta e ben aderente al substrato e risulta protettiva per il materiale su cui si forma. Il film passivo non è costituito unicamente da ossidi e idrossidi di cromo: analisi effettuate con tecniche XPS¹ hanno messo in luce anche la presenza di ferro e molibdeno (sempre sotto forma di ossidi e idrossidi) ed hanno evidenziato come il nichel tenda, invece, ad accumularsi all'interfaccia tra il film passivo e il substrato d'acciaio (si osservi la schematizzazione di figura 1).

Il film di ossido/idrossido di cromo, essendo sottilissimo – lo spessore è di qualche nanometro – e trasparente alla radiazione luminosa, conferisce all'acciaio inossidabile la tipica colorazione metallica grigio-argentea, ben visibile nel pentolame da cucina, nella posateria o nei cinturini metallici degli orologi da polso.

Tutte le proprietà sopra descritte sono la conseguenza della rapida reazione del cromo presente in lega con l'ossigeno dell'atmosfera. L'ossidazione dell'acciaio inossidabile, detta anche passivazione, si manifesta naturalmente e spontaneamente in ambienti neutri ossidanti, come ad esempio a contatto con l'aria, oppure, come è abituale nei processi di fabbricazione dei semilavorati, è indotta artificialmente mediante

¹ XPS è l'acronimo di spettroscopia fotoelettronica a raggi X (X-ray Photoelectron Spectroscopy). Il campione viene investito da un flusso di fotoni, emessi dalla sorgente X: l'interazione dei fotoni con la materia da investigare porta all'emissione di elettroni, ognuno dei quali ha una particolare energia cinetica dipendente dall'energia di legame dell'elemento chimico da cui è stato emesso. Misurando l'energia cinetica degli elettroni emessi è possibile risalire alle energie di legame e, in ultima analisi, alle specie chimiche presenti nel materiale analizzato ed alla loro natura. Questa tecnica è anche denominata ESCA ovvero spettroscopia elettronica per analisi chimiche (Electron Spectroscopy for Chemical Analysis).



l'immersione del semilavorato in una soluzione diluita di acido nitrico: la pellicola protettiva di ossido e/o idrossido di cromo agisce nel senso di sigillare e porre una barriera tra il materiale e l'ambiente esterno. In virtù di quanto sopra descritto si desume come il termine "inossidabile" sia, in un certo senso, improprio: l'acciaio è, anzi, estremamente "ossidabile" e poiché si trova nello stato stabile di ossido/idrossido, è molto "resistente alla corrosione e all'aggressione dell'ambiente circostante".

Il film passivo di ossido/idrossido di cromo ha anche un'altra importante caratteristica: nel caso venga scalfito, abraso o danneggiato meccanicamente, si riformerà spontaneamente sulla superficie del componente, ostacolando nuovamente l'azione corrosiva (figura 2).

Oltre che nei confronti dei fenomeni di corrosione generalizzata, la presenza del cromo permette di garantire ottima resistenza anche nei confronti dei meccanismi di degrado localizzati, quali il *Pitting* e il *Crevice*.

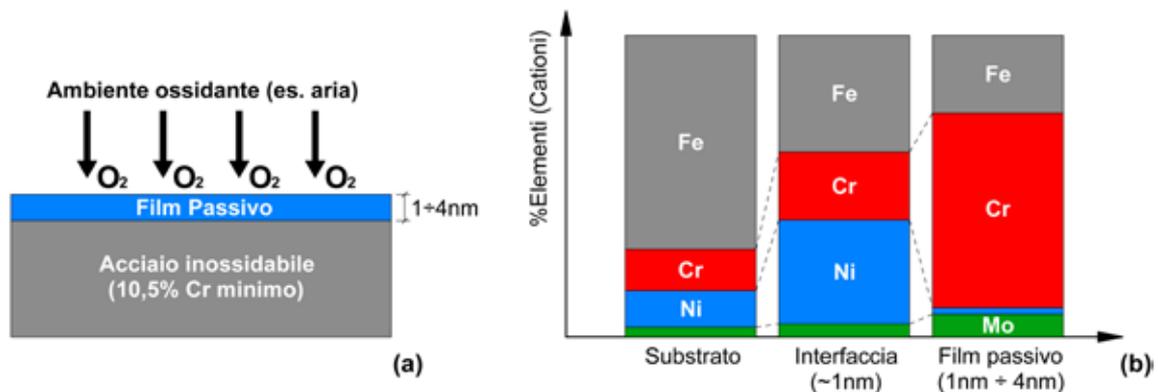


Figura 1 – (a) Meccanismo di passivazione degli acciai inossidabili a contatto con l'atmosfera e (b) schematizzazione dell'andamento degli elementi presenti nel film passivo, nell'interfaccia e nel substrato di un acciaio inossidabile 18%Cr-14,3%Ni-2,5%Mo [tratto da Olefjord e Elfstrom 1982].

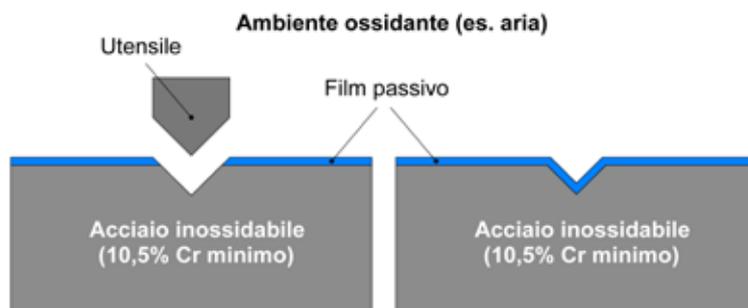


Figura 2 – Asportazione meccanica dello strato passivo e successiva ri-passivazione degli acciai inossidabili [tratto da Baddoo 1995].

Poiché, infine, gli ossidi di cromo che si formano sulla superficie degli acciai inossidabili risultano molto stabili a temperature maggiori di quella ambiente, il materiale manifesterà anche elevata resistenza all'ossidazione ed alla corrosione a caldo.

In termini del tutto generali si può quindi concludere che maggiore è la quantità di cromo in lega, maggiore sarà la resistenza dell'acciaio inossidabile alla corrosione: ciò è valido sia in condizioni di corrosione a umido che per effetto di fenomeni di ossidazione a caldo. A questo scopo, in figura 3, è mostrato l'andamento della velocità di corrosione di leghe ferrose aventi vari tenori cromo, in presenza di soluzioni acquose diluite di acido nitrico e acido solforico e in condizioni di ossidazione a caldo in aria alla temperatura di 1000°C. Si noti come in presenza di acido nitrico, ossia di un acido ossidante che favorisce la passivazione del cromo, la resistenza alla corrosione dell'acciaio aumenti all'aumentare del tenore di cromo mentre, in presenza di un acido riducente come l'acido solforico, la velocità di corrosione segua un andamento del tutto opposto. Un ulteriore effetto del cromo è quello di migliorare la resistenza allo scorrimento a caldo (o scorrimento viscoso) degli acciai inossidabili che, per questo motivo, vengono largamente impiegati a temperature maggiori della temperatura ambiente, in condizioni ove è prevalente il degrado per fenomeni di *Creep*.

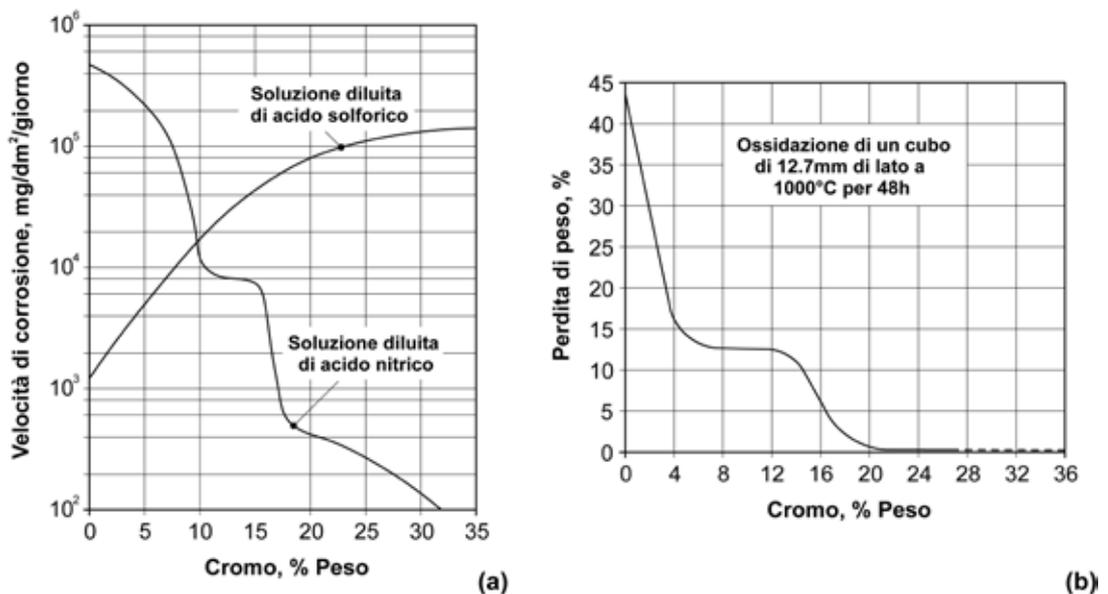


Figura 3 – Velocità di corrosione, in termini di perdita di peso, di leghe ferro-cromo (a) in soluzioni acquose diluite di acido nitrico e acido solforico e (b) in condizioni di ossidazione a caldo in aria alla temperatura di 1000°C [tratto da Verhoeven 2007].

2. L'ALBERO DEGLI ACCIAI INOSSIDABILI

Prima di trattare dettagliatamente le loro caratteristiche metallurgiche e meccaniche, è possibile descrivere le principali tipologie degli acciai inossidabili esistenti sul mercato ricorrendo ad una comoda esemplificazione: l'albero degli acciai inossidabili (vedi figura 4).

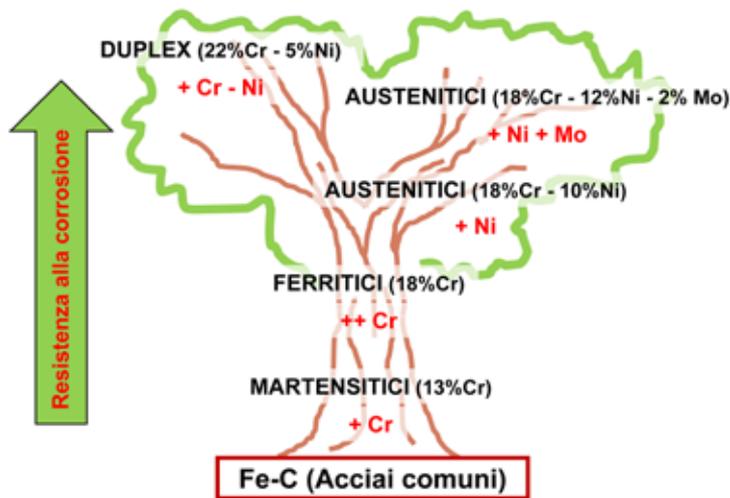


Figura 4 – Schematizzazione dell'evoluzione degli acciai inossidabili a partire dagli acciai al solo carbonio: l'albero degli inossidabili [tratto da Di Caprio 2003].

Per cominciare si consideri un comune acciaio da bonifica al solo carbonio, ad esempio un acciaio tipo C30: per rendere inossidabile tale acciaio basterà aggiungere un tenore rilevante di cromo (~13%) ottenendo una prima possibile tipologia di acciaio inossidabile. Si tratta del tipo X30Cr13.

Un acciaio con questa composizione chimica potrà essere trattato termicamente (è, infatti, un acciaio da bonifica) e, dopo tempra e rinvenimento (bonifica), la sua struttura a temperatura ambiente sarà martensitica rinvenuta; esso, inoltre, avrà anche il pregio di offrire una discreta resistenza alla corrosione, unitamente ad una buona resistenza meccanica.

Volendo ulteriormente migliorare la resistenza alla corrosione dell'acciaio inossidabile sopra proposto, si dovrebbe aggiungere un maggiore quantitativo di cromo, diminuendo nel contempo la presenza di carbonio. In questo caso l'acciaio ottenuto sarà un X6Cr17 ed avrà struttura ferritica a temperatura ambiente, a causa della presenza di un tenore rilevante di cromo, elemento fortemente ferritizzante. La resistenza alla corrosione del nuovo acciaio sarà superiore a quella dell'acciaio X30Cr13; per contro la resistenza meccanica dell'X6Cr17 sarà, invece, molto più limitata poiché non sarà possibile eseguire alcun trattamento termico di indurimento.



Per avere un acciaio con resistenza alla corrosione ancora maggiore rispetto ai due precedentemente indicati, si dovrà far ricorso all'aggiunta di nichel e di molibdeno, eventualmente aumentando anche il tenore di cromo.

Due sono le vie percorribili in questo caso:

- a) partendo dall'X6Cr17, si può pensare di aggiungere nichel per ottenere un acciaio inossidabile tipo X5CrNi18-10 oppure aggiungere sia nichel che molibdeno per avere il tipo X5CrNiMo17-12-2: si avrà così struttura austenitica a temperatura ambiente, a causa dell'effetto austenitizzante del nichel prevalente su quello ferritizzante del cromo.
- b) in alternativa, sempre partendo dall'X6Cr17, si potrebbe operare con aggiunte più contenute di nichel e maggiori di cromo, in presenza di una certa percentuale di molibdeno, per ottenere l'acciaio inossidabile tipo X2CrNiMoN22-5-3: questa soluzione darà origine ad una struttura mista (o bifasica) di ferrite ed austenite.

I quattro acciai sopra descritti, appartenenti a vario titolo all'albero degli acciai inossidabili di figura 4, sono anche rappresentativi delle quattro principali famiglie di acciai inossidabili di uso corrente; tali famiglie, tutte definite in base alla loro microstruttura a temperatura ambiente, sono:

- acciai inossidabili martensitici (come ad es. l'X30Cr13),
- acciai inossidabili ferritici (come ad es. l'X6Cr17),
- acciai inossidabili austenitici (come ad es. l'X5CrNi18-10 e l'X5CrNiMo17-12-2),
- acciai inossidabili austeno-ferritici o bifasici o *Duplex* (come ad es. l'X2CrNiMoN22-5-3).

A queste quattro se ne deve aggiungere una quinta, ossia la famiglia degli acciai inossidabili indurenti per precipitazione: essa non è definita dalla struttura metallurgica dell'acciaio a temperatura ambiente bensì, come avviene tradizionalmente, è descritta dal trattamento termico/meccanismo di rafforzamento che la contraddistingue (indurimento per precipitazione).



3. METALLURGIA DEGLI ACCIAI INOSSIDABILI

Come si è detto nel capitolo precedente, le quattro maggiori famiglie degli acciai inossidabili vengono classificate in base alla microstruttura che essi assumono a temperatura ambiente, ossia:

- acciai inossidabili martensitici (costituiti da microstruttura martensitica)
- acciai inossidabili ferritici (costituiti da microstruttura ferritica)
- acciai inossidabili austenitici (costituiti da microstruttura austenitica)
- acciai inossidabili austeno-ferritici (costituiti da microstruttura mista di austenite e ferrite).

Per comprendere come sia possibile ottenere microstrutture così differenti tra loro è necessario considerare in modo puntuale l'effetto che gli elementi di lega hanno sul diagramma di stato degli acciai inossidabili: solo un attento esame dei diagrammi di stato permetterà di comprendere come sia possibile avere strutture e proprietà così diverse all'interno di una medesima famiglia di materiali.

Nell'analisi dei diagrammi di stato si tenga però sempre presente come essi abbiano validità solo in condizioni di equilibrio ossia soltanto quando la lega indicata subisca un lentissimo raffreddamento per successivi stati d'equilibrio dalla temperatura di fusione alla temperatura ambiente.

3.1 Ferro-Cromo

Il primo diagramma di stato da prendere in esame è necessariamente il diagramma Fe-Cr, poiché proprio il cromo è l'elemento che caratterizza la famiglia degli acciai inossidabili e che impartisce loro eccellenti doti di resistenza alla corrosione. Si veda a questo proposito la figura 5.

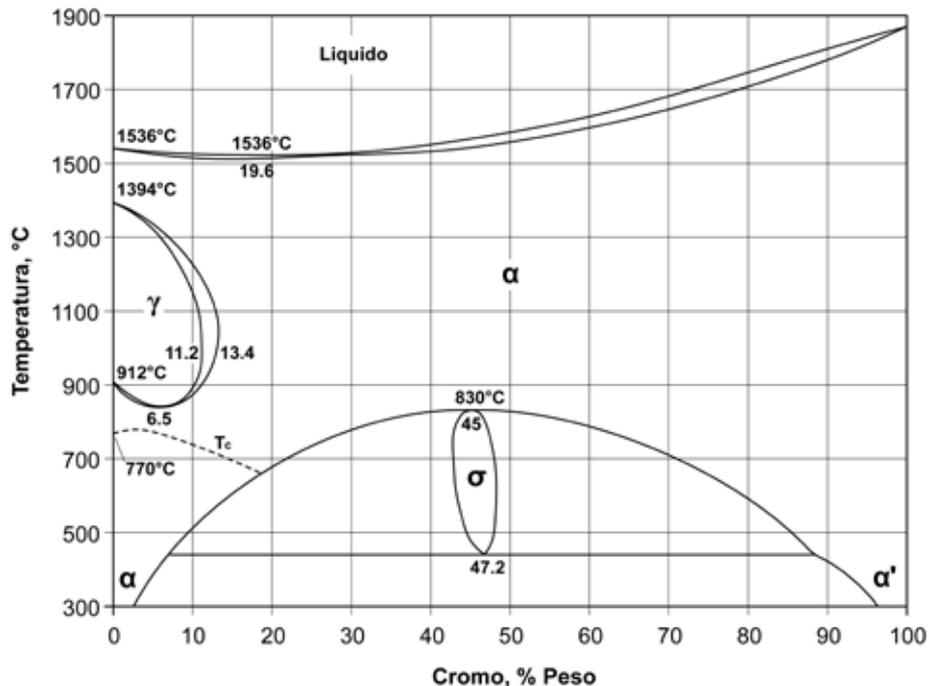


Figura 5 – Il diagramma di stato Fe-Cr [tratto da ASM-H.3 1992].



Poiché il cromo è un elemento ferritizzante, ossia favorisce l'allargamento del campo di esistenza della fase α , il diagramma di stato Fe-Cr evidenzia la presenza del campo γ chiuso, con limite inferiore e superiore in corrispondenza rispettivamente dell'11,2% e del 13,4%: ciò significa che se il tenore di cromo è superiore al 13,4% la lega ferro-cromo avrà reticolo α con struttura ferritica² stabile a partire dalla temperatura di solidificazione della lega fino a temperatura ambiente. Per contro se il tenore di cromo è inferiore al 13,4%, si osserverà l'abituale trasformazione $\gamma \rightarrow \alpha$, come è tipico del diagramma di stato Fe-C.

Se da un lato la chiusura del campo γ è provocata dall'aggiunta di elementi di lega ferritizzanti come il cromo, l'alluminio, il vanadio, il silicio, il molibdeno, il titanio, il niobio o il tungsteno, dall'altro gli elementi di lega austenitizzanti come il nichel, il manganese, il carbonio o l'azoto, produrranno invece un allargamento del campo γ ed uno spostamento a destra della soglia limite.

Tutto ciò è molto importante perché, come si osserva dalla figura 6, aggiungendo carbonio, azoto o nichel alla lega ferro-cromo, il campo di esistenza della fase γ si allargherà in modo significativo: è così possibile avere fase γ stabile ad alta temperatura (900°C-1000°C) pur con tenori di cromo maggiori del 13,4%.

Queste due peculiari caratteristiche del diagramma di stato Fe-Cr permettono di spiegare l'esistenza di due importanti famiglie di acciai inossidabili.

Da un lato, se il tenore di cromo è dell'ordine del 16%-17% e il livello di carbonio è molto basso (inferiore a 0,1%), non si hanno trasformazioni strutturali e l'acciaio avrà struttura ferritica (campo degli acciai inossidabili ferritici); dall'altro, quando il tenore di cromo è dell'ordine del 13% e il livello di carbonio si attesta attorno a 0,2-0,3%, la lega presenterà la trasformazione $\gamma \rightarrow \alpha$ e sarà possibile l'esistenza degli acciai inossidabili martensitici.

Altra caratteristica rilevante del diagramma Fe-Cr è la presenza della fase σ , ossia un composto intermetallico tra ferro e cromo a struttura tetragonale (il contenuto di cromo è variabile, all'incirca, tra il 40% e il 50%) che si deposita a bordo grano, conferendo elevata durezza e fragilità all'acciaio. Poiché la fase σ è molto ricca in cromo, essa tende a peggiorare notevolmente la resistenza alla corrosione degli acciai inossidabili (impoverisce l'acciaio proprio dell'elemento che garantisce la resistenza alla corrosione): la sua presenza deve quindi essere accuratamente evitata, facendo attenzione a non esporre il materiale a temperature dell'intervallo 550°-850°C per tempi dell'ordine di 100-1.000 ore. Si tenga presente che l'intervallo di temperature indicato (550°-850°C) è valido per leghe costituite unicamente da ferro e cromo; nel caso in cui fossero presenti altri elementi di lega, come il molibdeno, la fase σ potrebbe apparire anche a temperature fino a 980°C. Talvolta i fenomeni conseguenti alla formazione della fase σ vengono anche denominati "infragilimento ad 800°C".

² Parlando degli acciai inossidabili spesso la fase α , a cui corrisponde la struttura ferritica, viene anche alternativamente denominata fase δ . La distinzione (α e δ) tra le due denominazioni utilizzate per definire la medesima struttura (ferrite), è del tutto convenzionale: di solito la fase cubica a corpo centrato viene denominata δ se si trova ad elevata temperatura, α se è a temperatura ambiente.



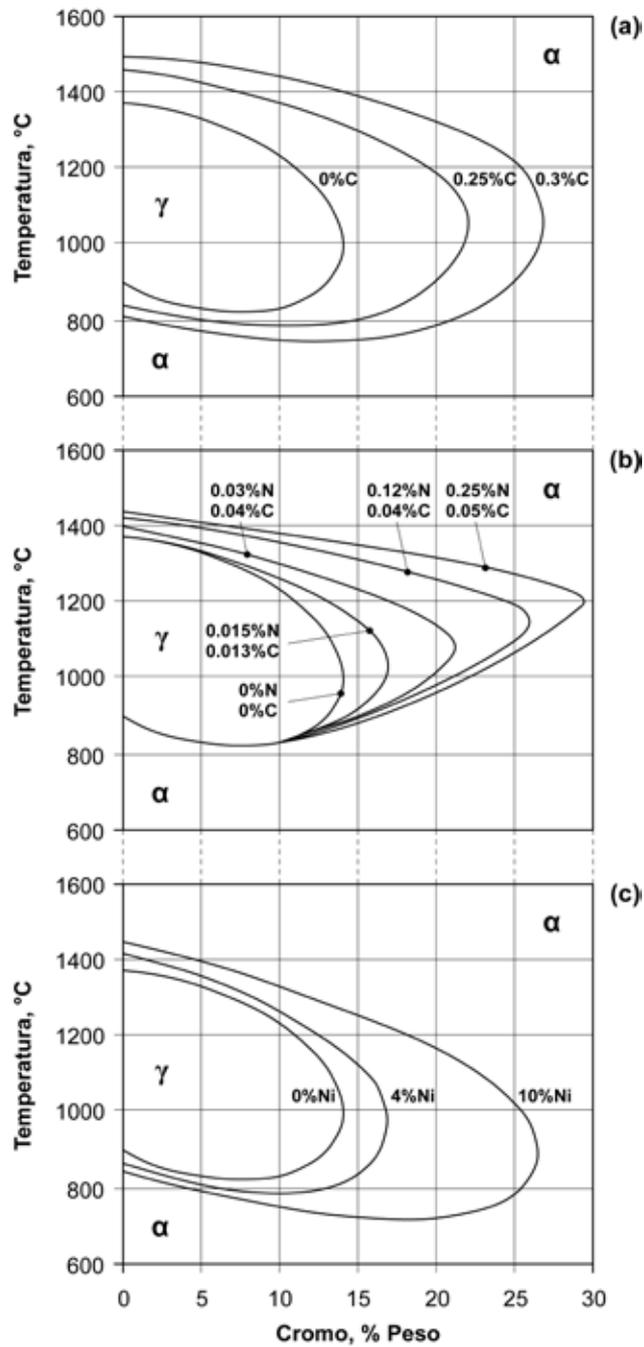


Figura 6 – Effetto dell’aggiunta di (a) carbonio, (b) azoto e (c) nichel sull’allargamento del campo di esistenza della fase γ nel diagramma di stato Fe-Cr [tratto da Lacombe et al. 1993].



Sempre sul diagramma di stato Fe-Cr si segnala l'esistenza della fase α' : tale fase si forma a temperature comprese all'incirca tra i 350°C e i 550°C per tempi di mantenimento più o meno prolungati³. La condizione più critica si verifica in corrispondenza di 475°C, anche dopo solo un'ora di esposizione, da cui il nome di "infragilimento a 475°C".

La fase α' si forma all'interno dei grani ferritici ed ha struttura cubica a corpo centrato: è una fase ricca di ferro e cromo, coerente con la matrice α dell'acciaio e presenta dimensione submicroscopica. La fase α' è, a tutti gli effetti, una decomposizione/trasformazione della struttura ferritica, non individuabile attraverso comuni analisi metallografiche o mediante i raggi X a causa delle dimensioni submicroscopiche e di parametri reticolari del tutto simili a quelli della fase α ⁴.

La fase α' tende a produrre un progressivo infragilimento dell'acciaio all'aumentare del tempo di permanenza alle temperature critiche, oltre a manifestare un peggioramento delle caratteristiche di resistenza alla corrosione della lega. Il fenomeno si verifica per leghe contenenti un tenore di cromo maggiore del 14%, con una cinetica che aumenta all'aumentare degli elementi di lega.

3.2 Ferro-Nichel

Passiamo ora ad esaminare l'effetto del nichel (diagramma di stato Fe-Ni), ossia l'altro elemento di lega sempre presente nella composizione chimica delle due rimanenti famiglie di acciai inossidabili (acciai inossidabili austenitici ed acciai inossidabili austeno-ferritici).

Il nichel conferisce duttilità al materiale ed elevatissima tenacità, anche a temperature criogeniche; esso contribuisce all'incremento della resistenza alla corrosione degli acciai inossidabili, non tanto perché induca un miglioramento della stabilità del film passivo (come è invece il caso del cromo), quanto piuttosto perché favorisce la ri-passivazione dell'acciaio⁵ ed incrementa la resistenza alla corrosione in ambienti riducenti. Così come il cromo, anche il nichel conferisce all'acciaio inossidabile elevata resistenza all'ossidazione a caldo ed allo scorrimento viscoso.

Se l'effetto del cromo è quello di chiudere il campo della fase γ , l'azione del nichel è invece quella di aprire il campo γ fino a temperatura ambiente e chiudere, nel contempo, il campo α : si osservi al proposito il diagramma di stato Fe-Ni riportato in figura 7.

³ La formazione della fase α' si ottiene, secondo la maggior parte degli autori, per decomposizione spinodale, ossia per decomposizione di una fase instabile (la fase α originaria) che dà luogo a due distinte soluzioni solide con uguale struttura cristallina ma differente composizione chimica (la fase α' e la nuova fase α modificata); una minoranza ritiene invece che la fase α' si formi per nucleazione ed accrescimento dalla fase α .

⁴ Si noti che con la simbologia α' si designa correntemente anche la martensite ottenuta per deformazione plastica a freddo degli acciai inossidabili austenitici in seguito alla trasformazione dall'austenite (vedi oltre). Poiché le due fasi (α' -martensite e α' -ferrite da decomposizione spinodale) non devono essere confuse tra loro si è sempre preferito utilizzare nel testo il termine "infragilimento a 475°C" anziché il termine α' .

⁵ Nel caso in cui il film passivo superficiale venga scalfito meccanicamente o, peggio, venga danneggiato chimicamente, la presenza di nichel è favorevole al suo riformarsi, ripristinando l'originale inossidabilità del materiale.



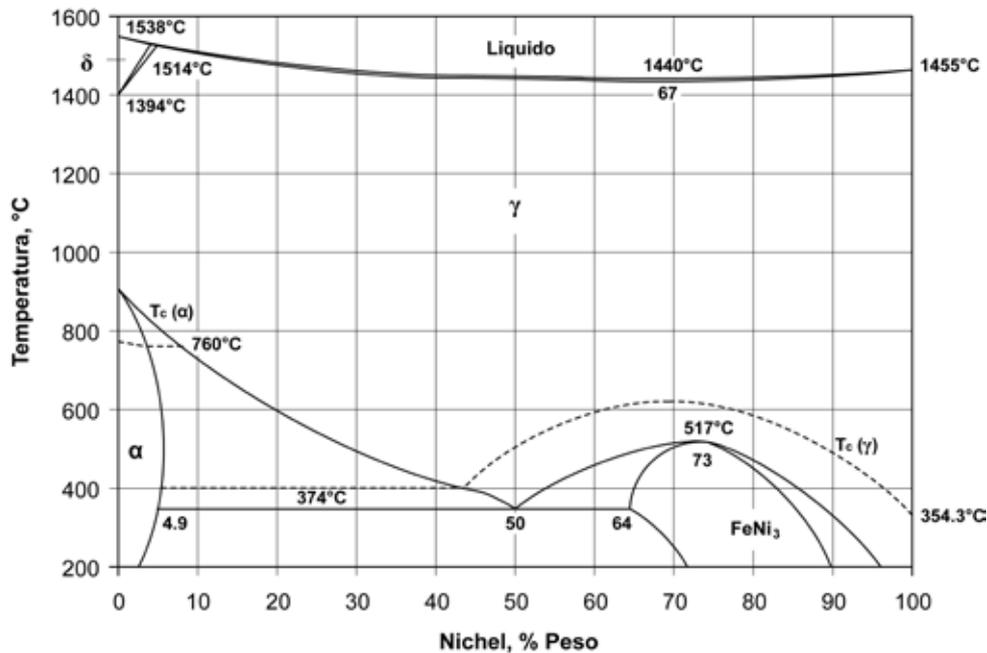


Figura 7 – Il diagramma di stato Fe-Ni [tratto da ASM-H.3 1992].

La possibilità di avere un campo γ aperto (cioè fase γ stabile) a partire dalla temperatura di solidificazione fino a temperatura ambiente, permetterà di avere un acciaio con struttura completamente austenitica. Il fenomeno è possibile in quanto l'aggiunta di nichel tende a spostare i punti critici della trasformazione $\gamma \rightarrow \alpha$ a temperature molto basse: al raffreddamento la struttura non subirà alcuna trasformazione rimanendo austenitica anche a temperatura ambiente. Il diagramma di stato Fe-Ni mostra anche l'esistenza della fase Ni_3Fe che però ha scarso interesse pratico nell'ambito degli acciai inossidabili.

Mentre nelle semplici leghe Fe-Ni è necessario circa il 30% di nichel per avere solo fase γ a temperatura ambiente, se si aggiunge all'incirca il 17% di cromo sarà sufficiente l'8% di nichel per avere struttura austenitica stabile: in tal modo si spiega l'esistenza degli acciai inossidabili austenitici aventi 17-18% di cromo e 10-12% di nichel (vedi figura 8).

3.3 Ferro-Cromo-Nichel

Per meglio comprendere il fenomeno appena descritto è opportuno considerare il diagramma ternario Fe-Cr-Ni, certamente più significativo qualora si debbano descrivere leghe contenenti tre elementi di lega in tenori rilevanti. In considerazione però della difficoltà pratica di tracciare diagrammi ternari (che avrebbero cioè una struttura tridimensionale), si è soliti rappresentarli sotto forma di sezioni binarie in cui viene fissata la percentuale di uno dei tre elementi di lega. Si veda al proposito la sezione binaria Cr-Ni del diagramma



ternario Fe-Cr-Ni, con tenore di ferro pari al 70% (figura 9), molto utile quando in lega siano presenti contemporaneamente sia cromo che nichel⁶.

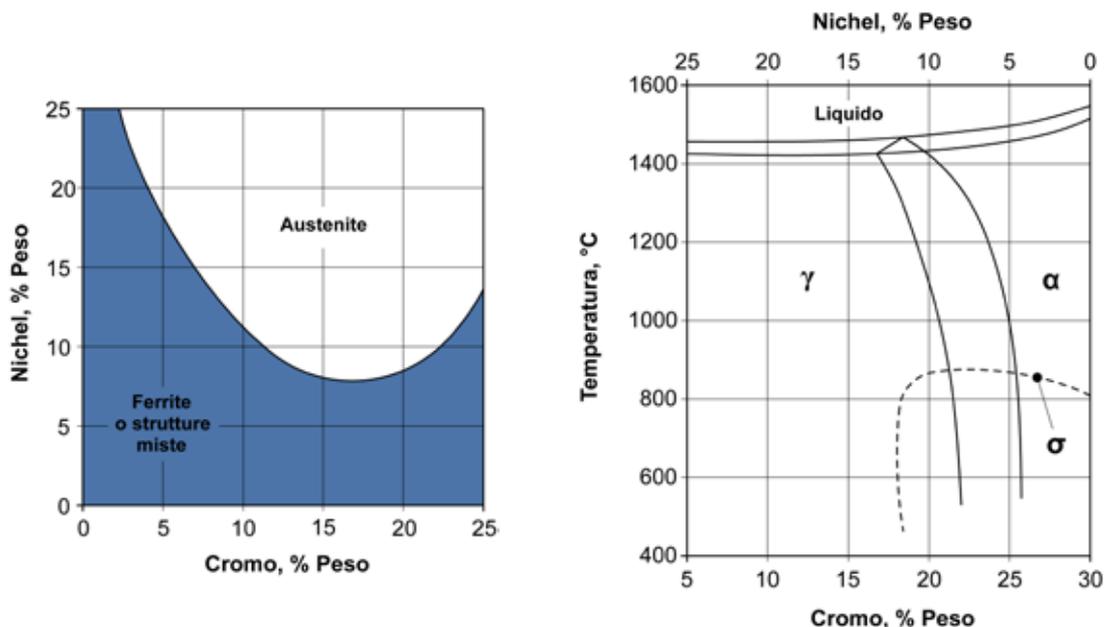


Figura 8 – Effetto del nichel sulla formazione di struttura austenitica in relazione al tenore di cromo in lega: acciai di varia composizione chimica con C=0,1% solubilizzati in acqua da 1100°C [tratto da Peckner e Bernstein 1977].

Figura 9 – Sezione binaria Cr-Ni del diagramma ternario Fe-Cr-Ni (con Fe = 70%) [tratto da Lippold e Kotecki 2005].

La sezione ternaria mostrata in figura 9 evidenzia nuovamente l'assenza dei punti critici di trasformazione $\gamma \rightarrow \alpha$. Essa inoltre permette di spiegare, in relazione al tenore di cromo e di nichel in lega, l'esistenza di strutture esclusivamente austenitiche (acciai inossidabili austenitici) o di strutture bifasiche di austenite e ferrite (acciai inossidabili austeno-ferritici o *Duplex*): ipotizzando un tenore di cromo del 17-18% e di nichel del 10-12% si avrà struttura austenitica, se il tenore di cromo è invece del 22-25% e quello di nichel del 4-8% la struttura sarà austeno-ferritica.

⁶ Si noti, per la precisione, che gli acciai inossidabili austenitici al cromo-nichel o cromo-nichel-molibdenu non hanno struttura completamente austenitica. Dall'esame dei diagrammi ternari si rileva sempre la presenza di una piccola percentuale di ferrite (fino al 5%): ciò è generalmente un vantaggio in quanto riduce la suscettibilità dell'acciaio alla formazione di cricche a caldo durante la saldatura.



3.4 Gli altri elementi di lega

Oltre al cromo e al nichel, negli acciai inossidabili sono presenti anche altri elementi chimici che modificano sia le caratteristiche metallurgiche che le proprietà meccaniche e di resistenza alla corrosione dell'acciaio, conferendo ulteriori e specifiche proprietà.

In tutti gli acciai inossidabili, in quanto acciai, è sempre presente il carbonio.

Il carbonio, elemento austenitizzante come il nichel, conferisce durezza e resistenza meccanica all'acciaio. Poiché il carbonio è anche un elemento chimico molto affine per il cromo, negli acciai inossidabili vi è sempre la tendenza alla formazione di carburi di cromo, tipo Cr_{23}C_6 , particolarmente deleteri poiché impoveriscono l'acciaio inossidabile proprio dell'elemento chimico che garantisce loro la resistenza alla corrosione. Il fenomeno della formazione dei carburi di cromo avviene a temperature maggiori della temperatura ambiente, tipicamente nell'intervallo compreso tra 450°C e 900°C.

I carburi di cromo si depositano preferenzialmente a bordo grano e generano localmente, cioè nell'intorno del bordo grano stesso, un impoverimento di cromo: come conseguenza la composizione chimica della massa metallica scende al di sotto della soglia di passivazione (10,5% di cromo) dando origine a fenomeni di corrosione intergranulare, anche in ambienti blandamente aggressivi⁷. L'entità della corrosione è condizionata, oltreché dalla quantità dei carburi precipitati, anche dalla minore o maggiore diffusività del cromo nel reticolo dell'acciaio: ciò provoca, nella struttura cristallina dell'acciaio, un impoverimento di cromo a corto raggio o a lungo raggio con effetti differenti in termini di degrado del materiale⁸ (vedi figura 10).

Vista la grande importanza del problema dei carburi di cromo, meglio si dirà nel seguito: per ora basti ricordare che, a parte il caso in cui si vogliano elevate caratteristiche meccaniche (come nel caso degli acciai inossidabili martensitici), per evitare il problema sopradescritto si riduce il più possibile il tenore di carbonio o si cerca di neutralizzarne l'azione, combinandolo con altri elementi chimici.

Dopo cromo, nichel e carbonio, il quarto elemento chimico di notevole importanza per gli acciai inossidabili è il molibdeno, altro elemento di natura ferritizzante.

Aggiunto in lega migliora in misura significativa la resistenza alla corrosione, in particolare per quanto riguarda i fenomeni di aggressione localizzata, quali il *Pitting* e il *Crevice*. Il molibdeno è anche favorevole nei confronti della resistenza a caldo degli acciai inossidabili almeno fino a medie temperature; a temperature maggiori di 800°C, tende tuttavia a formare ossidi liquidi (MoO_3) e a dar origine a fenomeni di ossidazione selettiva di tipo catastrofico.

⁷ Anche il meccanismo di degrado innescato dalla presenza di fase σ è del tutto simile a quello provocato dalla formazione di carburi di cromo, con impoverimento locale di cromo e corrosione intergranulare.

⁸ Negli acciai inossidabili ferritici la diffusività del cromo è elevata e l'impoverimento di cromo provocato dalla formazione di carburi si svilupperà a lungo raggio a partire dal bordo grano; al contrario per gli acciai inossidabili austenitici (bassa diffusività del cromo) dove l'impoverimento di cromo si manifesterà invece a corto raggio. Di conseguenza possibili fenomeni di corrosione intergranulare saranno molto più pronunciati negli acciai inossidabili austenitici che negli acciai inossidabili ferritici.



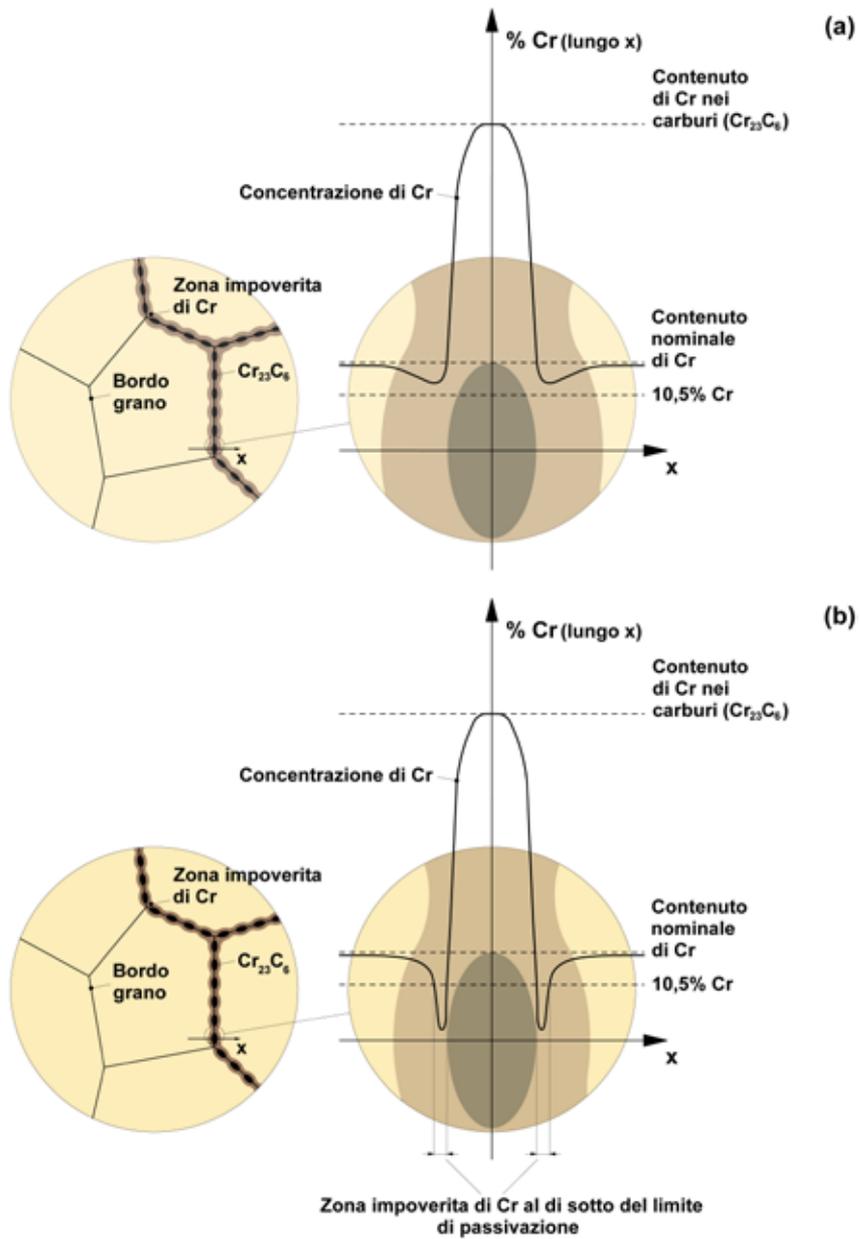


Figura 10 – Andamento della concentrazione di cromo in corrispondenza di un bordo grano ove si è avuta precipitazione di carburi di cromo: a) per un acciaio inossidabile ferritico (alta diffusività del cromo); b) per un acciaio inossidabile austenitico (bassa diffusività del cromo).

Vi è poi tutta un'altra serie di elementi di lega spesso presenti negli acciai inossidabili: essi hanno, però, un'importanza minore rispetto ai precedenti. Si tratta del manganese, del titanio, del niobio, dello zolfo, dell'azoto e del rame.

Il manganese è normalmente presente negli acciai inossidabili in tenori inferiori al 2% poiché viene usato in fase di produzione dell'acciaio come forte disossidante⁹; in tenori maggiori al 2% viene impiegato come sostituto del nichel a causa della sua caratteristica austenitizzante. La presenza di tenori rilevanti di manganese (>2%) migliora la capacità di incrudimento dell'acciaio inossidabile ma peggiora la sua resistenza alla corrosione.

Titanio e niobio sono entrambi elementi ferritizzanti e, nel caso degli acciai inossidabili, vengono denominati elementi stabilizzanti. Questi due elementi sono aggiunti nell'analisi chimica poiché hanno grande affinità per il carbonio e possono formare carburi o carbonitridi di titanio o niobio tipo MC o $M_x(NC)_y$ (con M=Ti o Nb): ciò impedisce al carbonio di legarsi con il cromo, formando carburi di cromo e riducendo la resistenza alla corrosione dell'acciaio¹⁰.

Per migliorare la lavorabilità alle macchine utensili (truciolabilità) si può aggiungere zolfo agli acciai inossidabili: lo zolfo forma solfuri di manganese e/o di cromo che favoriscono la frammentazione del truciolo durante le operazioni di sgrossatura e finitura dei pezzi. La presenza di zolfo ha, però, una serie di effetti negativi: esso peggiora la resistenza alla corrosione e la tenacità/resilienza dell'acciaio inossidabile nonché che la sua deformabilità plastica a caldo e la sua saldabilità.

L'azoto, elemento fortemente austenitizzante, è aggiunto ad alcune famiglie di acciai inossidabili (austenitici e austeno-ferritici) sia per aumentarne la resistenza meccanica che per migliorare la resistenza alla corrosione localizzata.

Da ultimo il rame, anch'esso elemento austenitizzante: viene aggiunto in piccole percentuali (al massimo pari all'1%) per migliorare la duttilità (deformabilità plastica a freddo) degli acciai inossidabili austenitici. La presenza di rame, tuttavia, peggiora leggermente la resistenza alla corrosione, così come la saldabilità e la deformabilità plastica a caldo.

⁹ In modo simile si utilizza anche il silicio, forte disossidante del bagno metallico di acciaio.

¹⁰ In alternativa al titanio e al niobio si può anche aggiungere il tantalio, anche detto columbio, con analoghi effetti stabilizzanti.



3.5 Il diagramma di Schaeffler e il diagramma di De Long

Vista la grande varietà di elementi di lega che è possibile trovare nella composizione chimica degli acciai inossidabili, è sempre necessario considerare complessivamente l'effetto ferritizzante o austenitizzante di ciascuno, per definire univocamente la struttura che avrà l'acciaio a temperatura ambiente.

Per risolvere questo problema è necessario l'impiego di uno strumento più intuitivo rispetto ai diagrammi di stato. A questo proposito è stato messo a punto un diagramma strutturale, dovuto originariamente a Schaeffler e successivamente modificato da altri ricercatori, che permette di individuare, dopo rapida solidificazione, la struttura metallurgica degli acciai inossidabili a temperatura ambiente a partire dagli elementi di lega presenti nella composizione chimica. Benché il diagramma manchi delle solide basi termodinamiche tipiche dei diagrammi d'equilibrio, si rivela molto utile per moltissime applicazioni pratiche (si osservi al proposito la figura 11).

Sul diagramma di Schaeffler è riportata in ascissa la sommatoria degli elementi ferritizzanti (detta cromo equivalente, Cr_{eq}) mentre in ordinata è indicata la sommatoria degli elementi austenitizzanti (detta nichel equivalente, Ni_{eq}). In entrambi i casi ogni elemento è pesato con un proprio coefficiente, posto pari ad 1 l'effetto ferritizzante del cromo e quello austenitizzante del nichel.

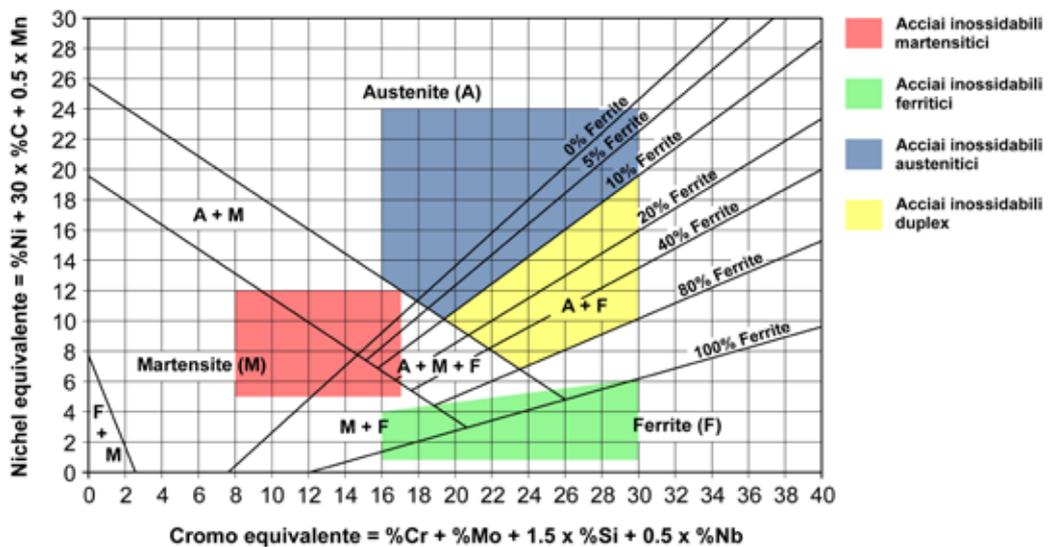


Figura 11 – Diagramma strutturale di Schaeffler; in evidenza i campi d'esistenza delle quattro principali famiglie degli acciai inossidabili [tratto da Krauss 2005].

Il diagramma di Schaeffler è suddiviso in quattro zone che corrispondono proprio alle quattro tipiche microstrutture degli acciai inossidabili citate in precedenza (martensite, ferrite, austenite e austenite-ferrite): nota la composizione chimica dell'acciaio, sarà pertanto possibile individuare la microstruttura a temperatura ambiente e la famiglia di appartenenza del materiale.



Come si può osservare il diagramma di Schaeffler non menziona l'azoto tra gli elementi di lega: per ovviare a questo problema, negli anni '70 del secolo scorso, il diagramma fu rielaborato da De Long, limitatamente al campo austenitico ed austeno-ferritico (figura 12). L'esigenza di un diagramma più completo di quello di Schaeffler nacque nel momento in cui fu possibile aggiungere in lega tenori controllati di azoto in fase di fabbricazione: questo soprattutto per le famiglie degli acciai inossidabili austenitici ed austeno-ferritici con lo scopo di aumentarne durezza e resistenza.

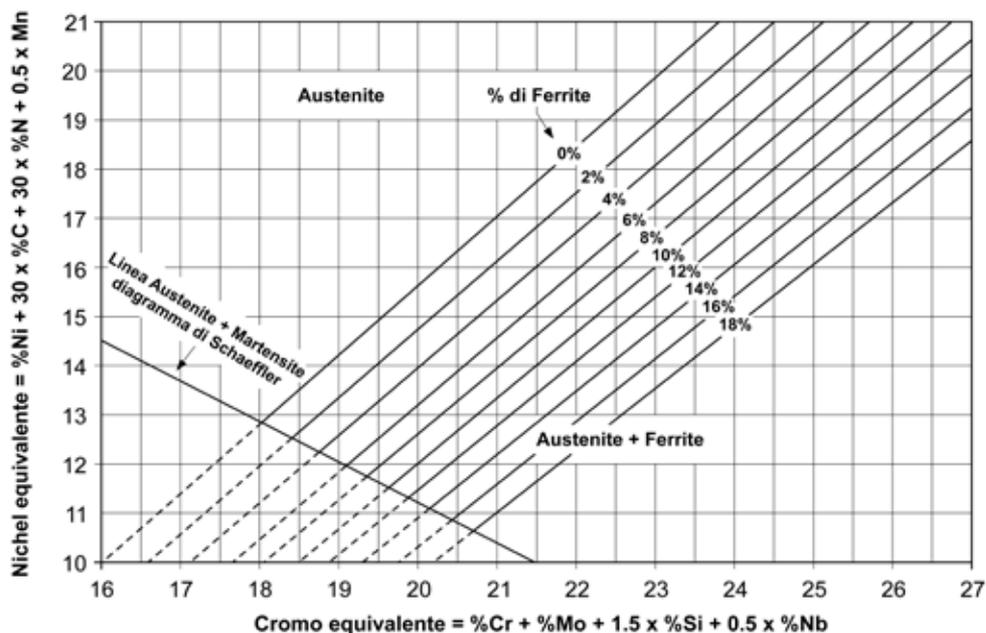


Figura 12 – Diagramma strutturale di De Long [tratto da Krauss 2005].

Occorre ribadire infine, come già ampiamente osservato, che sia il diagramma di Schaeffler che quello di De Long sono stati determinati per cordoni di saldatura, cioè per leghe raffreddate velocemente a partire dalla temperatura di fusione: essi, quindi, possono dare risultati affidabili solo in queste particolari condizioni. In molti casi, comunque, i due diagrammi vengono utilizzati, seppur solo indicativamente, anche per valutare la struttura di semilavorati allo stato ricotto o solubilizzato (getti, laminati, forgiati, trafilati, ecc.)¹¹.

¹¹ È opportuno osservare che il diagramma di Schaeffler non deve mai essere utilizzato per definire le specifiche microstrutturali dell'acciaio a partire dalla sua composizione chimica. Benché siano ricavabili anche dati quantitativi, si tenga presente che le microstrutture dei semilavorati in acciaio inossidabile sono sempre molto influenzate dal trattamento termico effettuato, nonché dall'eventuale presenza di disomogeneità locali di composizione chimica, oltre che ovviamente dal valore di Cr_{eq} e Ni_{eq} .



4. LA NORMATIVA DEGLI ACCIAI INOSSIDABILI

In ambito europeo la normativa di riferimento per gli acciai inossidabili è la EN 10088, parti da 1 a 5 (in Italia è declinata con il prefisso UNI-EN): essa elenca le varie tipologie di acciai inossidabili, la loro composizione chimica, le caratteristiche fisiche, le proprietà meccaniche e i trattamenti termici, specificando anche le condizioni tecniche di fornitura per semilavorati piani e per semilavorati lunghi.

Oltre alla normativa europea è ancor oggi molto utilizzato l'ormai desueto - ma comodo - manuale AISI (*American Iron and Steel Institute*), la cui ultima edizione risale alla metà degli anni '80 del secolo scorso: questo manuale, come del resto tutte le normative statunitensi, fa riferimento ad una designazione in cui ogni acciaio inossidabile ha un proprio numero d'ordine progressivo all'interno di una data classe (o serie). Le serie del manuale AISI sono state successivamente riprese dall'ASTM (*American Society for Testing and Materials*) che le cita in alcuni dei propri pacchetti normativi¹².

Il manuale AISI suddivide gli acciai inossidabili in alcune serie distinte; le più usate sono le seguenti:

- serie 200: acciai inossidabili austenitici al cromo – manganese
- serie 300: acciai inossidabili austenitici al cromo – nichel
- serie 400: acciai inossidabili martensitici e ferritici al cromo
- serie 600: acciai inossidabili indurenti per precipitazione

Pur con tutte le cautele del caso, è possibile comunque stabilire una corrispondenza approssimata tra le sigle della normativa europea e quelle del manuale AISI. Per i principali tipi di acciai inossidabili (già citati in precedenza), le corrispondenze AISI sono le seguenti¹³:

- l'acciaio inossidabile martensitico X30Cr13 corrisponde in modo approssimato al tipo AISI 420,
- l'acciaio inossidabile ferritico X6Cr17 corrisponde in modo approssimato al tipo AISI 430,
- gli acciai inossidabili austenitici X5CrNi18-10 e X5CrNiMo17-12-2 corrispondono in modo approssimato ai tipi AISI 304 ed AISI 316.

¹² È questo il caso, ad esempio, della norma ASTM A240/A240M dal titolo "Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications" o della norma ASTM A473 dal titolo "Standard Specification for Stainless Steel Forgings" che riportano, insieme alla designazione UNS (Unified Numbering System), l'equivalente designazione AISI, se esistente.

¹³ Nel presente testo, per quanto osservato in relazione alle corrispondenze tra le normative, si è deciso di usare le locuzioni "che corrisponde in modo approssimato a" o "simile a" per evitare di indurre nel lettore l'equivoco che una designazione sia perfettamente identica ad un'altra.



5. CENNI AL MERCATO DEGLI ACCIAI INOSSIDABILI

Benché la produzione degli acciai inossidabili sia una frazione della produzione degli acciai nel loro complesso (circa il 2% in peso dei semilavorati prodotti), essa ha comunque grande importanza sia per l'alto valore unitario del prodotto commercializzato (con un *market share* di circa il 15%) sia per il fatto che l'impiego dell'acciaio inossidabile è, in talune specifiche applicazioni, assolutamente necessario.

All'incirca tre quarti della produzione mondiale di acciaio inossidabile è relativa a semilavorati piani (lamiere, fogli, nastri, ecc.); un solo quarto è invece appannaggio dei semilavorati lunghi (barre, vergelle, fili, profilati, ecc.).

Come conseguenza delle summenzionate quote di mercato, il settore della produzione dei semilavorati lunghi è molto più flessibile alle esigenze di mercato (con più tipologie e più formati disponibili) rispetto a quanto avviene, invece, per la produzione dei semilavorati piani che è leggermente più standardizzata.

Uno schema del tutto indicativo del grado di utilizzo delle varie famiglie di acciai inossidabili è mostrato in figura 13, dove si è posta distinzione tra semilavorati piani e semilavorati lunghi.

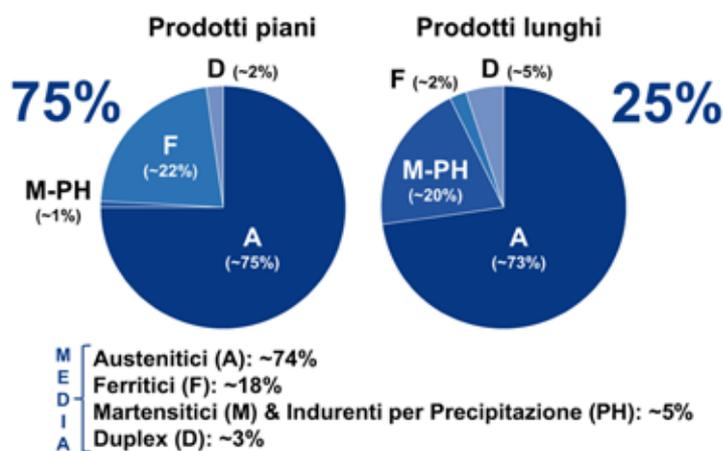


Figura 13 – Schema indicativo della produzione/utilizzo di acciai inossidabili a livello mondiale suddivisa per semilavorati piani e semilavorati lunghi.

Tra le tipologie di acciaio inossidabile più utilizzate la parte del leone la fanno certamente gli acciai inossidabili austenitici che coprono la quota più consistente degli impieghi (semilavorati piani e semilavorati lunghi) e, di conseguenza, rappresentano la fetta più rilevante della produzione mondiale di acciaio inossidabile. Meno utilizzati, seppur non meno importanti, gli acciai inossidabili ferritici e gli acciai inossidabili martensitici. Applicazioni più di nicchia sono invece relative agli acciai inossidabili austeno-ferritici ed agli acciai inossidabili indurenti per precipitazione.

Le principali destinazioni d'uso degli acciai inossidabili sono invece sintetizzate in tabella 1.



SETTORE E/O APPLICAZIONE	%
Petrochimico ed energetico (impianti <i>on-shore</i> e <i>off-shore</i> , industrie di estrazione e produzione petrolifera, sistemi di trasporto delle risorse e dei gas naturali, attrezzature sottomarine, impianti geotermici, solari, fotovoltaici, ecc.)	12 – 14
Industrie di processo (industrie chimiche, petrolchimiche e farmaceutiche, industrie di trasformazione e produzione di semilavorati e componenti, industrie alimentari, industrie della carta e della cellulosa, trattamento delle acque e impianti di dissalazione, ecc.)	18 – 20
Trasporti (automobili, cicli e motocicli, veicoli pesanti, treni, navi e imbarcazioni, ecc.)	12 – 14
Edilizia, architettura ed arredo urbano (monumenti e strutture architettoniche, facciate e coperture, canne fumarie e comignoli, corrimano e cancellate, scale mobili e ascensori, tubi distribuzione acqua, ecc.)	16 – 18
Elettrodomestici e casalinghi (pentole, posate, lavatrici, lavastoviglie, lavelli, rubinetteria, utensili da cucina in genere, ecc.)	34 – 36
Altro	~ 3

Tabella 1 – Principali ambiti di impiego degli acciai inossidabili.

Si tenga presente che all'incirca il 55% dell'acciaio inossidabile prodotto (semilavorati lunghi e piani) viene normalmente usato per la produzione di beni e componenti durevoli – impianti industriali, edilizia e trasporti – mentre il 45% va nei beni di consumo, soprattutto elettrodomestici e casalinghi.

Questi due mercati hanno significative differenze: mentre nel primo l'utilizzatore finale guarda principalmente alle caratteristiche metallurgiche dell'acciaio inossidabile impiegato, confrontandone le prestazioni e i costi con altri materiali quali l'acciaio rivestito, le leghe d'alluminio, le materie plastiche, ecc., nel caso dei beni di consumo le specifiche tecniche passano in secondo piano rispetto al costo del bene e alle condizioni del mercato in quel momento.



6. ACCIAI INOSSIDABILI MARTENSITICI

6.1 Metallurgia

Come osservabile dal diagramma di Schaeffler, la famiglia degli acciai inossidabili martensitici è caratterizzata da contenuti di cromo limitati (tipicamente tra l'11,5% e il 18%) e tenori di carbonio tra i più elevati nell'ambito degli acciai inossidabili di comune impiego (generalmente tra lo 0,1% e l'1%).

Il cromo, elemento ferritizzante, e il carbonio, elemento austenitizzante, sono bilanciati tra loro in modo che l'acciaio abbia una struttura austenitica ad alta temperatura e struttura martensitica a temperatura ambiente dopo il trattamento di tempra.

Si deve evidenziare che la presenza di un elevato tenore di carbonio, necessario per conferire buona durezza e resistenza meccanica all'acciaio, tende anche ad agevolare la formazione di carburi di cromo. Di conseguenza gli acciai inossidabili martensitici sono, tra tutti gli acciai inossidabili, i meno resistenti alla corrosione: il loro impiego è infatti legato ad ambienti blandamente aggressivi.

La composizione chimica di alcuni tra i principali tipi di acciai inossidabili martensitici e la relativa designazione secondo EN 10088 è riportata in tabella 2.

In figura 14 è schematizzata la logica "metallurgica" che ha portato alla creazione delle principali tipologie di acciai inossidabili martensitici a partire dall'X30Cr13 (simile all'AISI 420), capostipite di questa famiglia, ancor oggi molto usato nel settore della coltelleria.

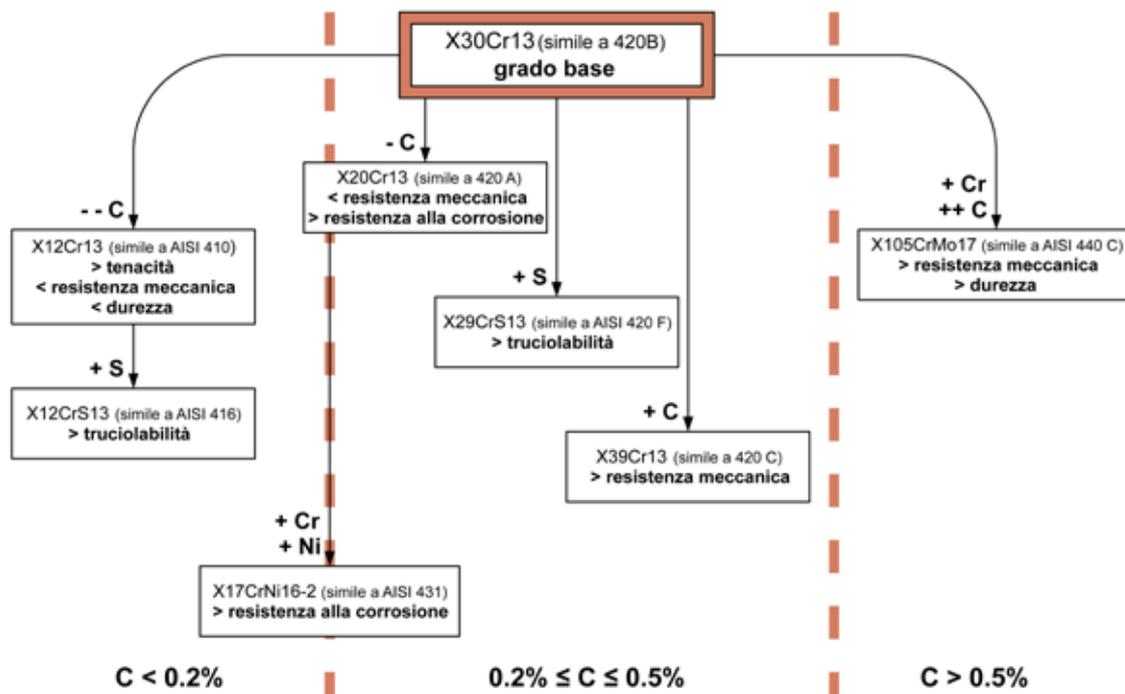


Figura 14 – Schema dei principali tipi di acciai inossidabili martensitici a partire dall'X30Cr13 (simile all'AISI 420), capostipite di questa famiglia.



Designazione EN	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	Altri	Corrispondenza approssimata AISI
X12Cr13 (1.4006)	0,08-0,15	≤1,00	≤1,50	≤0,040	≤0,015	11,5-13,5	1	AISI 410
X12Cr13 (1.4005)	0,08-0,15	≤1,00	≤1,50	≤0,040	0,15-0,35	12,0-14,0	2	AISI 416
X20Cr13 (1.4021)	0,16-0,25	≤1,00	≤1,50	≤0,040	≤0,015	12,0-14,0	---	AISI 420 (420A*)
X30Cr13 (1.4028)	0,26-0,35	≤1,00	≤1,50	≤0,040	≤0,015	12,0-14,0	---	AISI 420 (420B*)
X39Cr13 (1.4031)	0,36-0,42	≤1,00	≤1,00	≤0,040	≤0,015	12,5-14,5	---	AISI 420 (420C*)
X29Cr13 (1.4029)	0,25-0,32	≤1,00	≤1,50	≤0,040	0,15-0,25	12,0-13,5	3	AISI 420F
X17CrNi16-2 (1.4057)	0,12-0,22	≤1,00	≤1,50	≤0,040	≤0,015	15,0-17,0	4	AISI 431
X105CrMo17 (1.4125)	0,95-1,20	≤1,00	≤1,00	≤0,040	≤0,015	16,0-18,0	5	AISI 440C
X3CrNiMo13-4 (1.4313)	≤0,050	≤0,70	≤1,50	≤0,040	≤0,015	12,0-14,0	6	---
X4CrNiMo16-5-1 (1.44185)	≤0,060	≤0,70	≤1,50	≤0,040	≤0,015	15,0-17,0	7	---

*La denominazione indicata non si riferisce al manuale AISI; spesso ci si riferisce ad essa col termine "tipo" (ad es. tipo 420B)

1: %Ni ≤ 0,75

2: %Mo ≤ 0,60

3: %Mo ≤ 0,60

4: 1,50 ≤ %Ni ≤ 2,50

5: 0,40 ≤ %Mo ≤ 0,80

6: 3,50 ≤ %Ni ≤ 4,50; 0,30 ≤ %Mo ≤ 0,70; %N³ 0,020

7: 4,00 ≤ %Ni ≤ 6,00; 0,80 ≤ %Mo ≤ 1,50; %N³ 0,020

Tabella 2 – Composizione chimica di alcuni tra i principali tipi di acciaio inossidabile martensitico [tratto da EN 10088].



I diagrammi di stato a cui ci si può riferire per comprendere la metallurgia degli acciai inossidabili martensitici sono mostrati in figura 15 e in figura 16: essi prevedono l'esistenza dei punti critici, ossia la possibilità di avere la trasformazione $\gamma \rightarrow \alpha$, analogamente a quanto si verifica sul classico diagramma di stato Fe-C. Questo è ciò che avviene ad esempio quando il tenore di carbonio è dell'ordine dello 0,3%, come nel caso dell'X30Cr13 (simile all'AISI 420) o quando è attorno all'1% come nel caso dell'X105CrMo17 (simile all'AISI 440C).

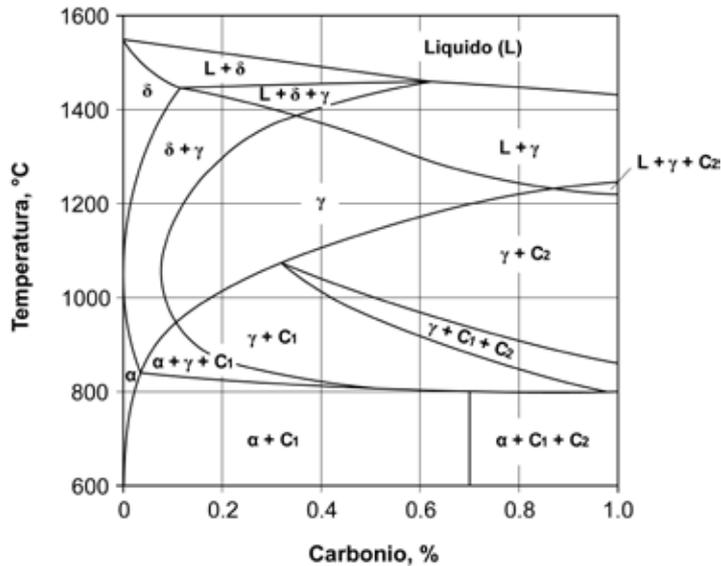


Figura 15 – Sezione binaria Fe-C del diagramma ternario Fe-Cr-C con Cr = 13%; C_1 carburi tipo $(Cr,Fe)_{23}C_6$, C_2 carburi tipo $(Cr,Fe)_7C_3$ [tratto da Lippold e Kotecki 2005].

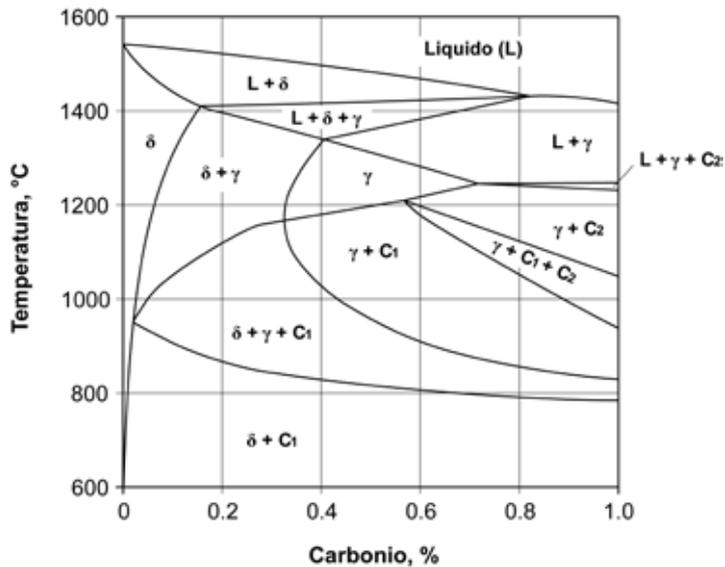


Figura 16 – Sezione binaria Fe-C del diagramma ternario Fe-Cr-C, con Cr = 17%; C_1 carburi tipo $(Cr,Fe)_{23}C_6$, C_2 carburi tipo $(Cr,Fe)_7C_3$ [tratto da Lippold e Kotecki 2005].



Effettuando pertanto il riscaldamento dell'acciaio a temperature superiori ai punti critici, la microstruttura originaria si trasformerà completamente in austenite più carburi, divenendo martensite più carburi per effetto del raffreddamento dell'acciaio in olio o in aria.

Si noti come l'aggiunta di carbonio (oppure anche di azoto o di nichel) favoriscano l'allargamento del campo d'esistenza della fase γ e permettano di ottenere struttura martensitica dopo tempra, anche per tenori di cromo ben superiori al 13,4%, soglia prevista dal diagramma Fe-Cr (vedi nuovamente la figura 5).

Data l'esistenza dei punti critici è quindi possibile tracciare le curve di trasformazione isoterma (TTT) ed anisoterma (CCT) dell'austenite: tali curve sono mostrate in figura 17 per un tipico acciaio inossidabile martensitico. Come già segnalato in precedenza la presenza di carburi stabili, sia ad alta che a bassa temperatura, è spiegabile a causa dell'elevato tenore di carbonio che ne agevola la formazione.

Si osservi inoltre come, vista la grande quantità di elementi di lega presenti, le curve TTT e le curve CCT siano molto spostate verso destra e verso il basso, rispetto agli assi temperatura-tempo: ciò favorisce notevolmente la temprabilità dell'acciaio (gli acciai inossidabili martensitici sono, di fatto, degli acciai autotemperanti) ma, nel contempo, può indurre la presenza di austenite residua (soprattutto per i tipi ad alto tenore di carbonio) e la formazione di cricche da tempra.

6.2 Trattamenti termici

Prima dell'utilizzo i semilavorati in acciaio inossidabile martensitico devono essere sottoposti a trattamento termico per ottenere una struttura ben lavorabile alle macchine utensili. A questo proposito, come avviene per i tradizionali acciai speciali da costruzione, si potrebbe eseguire una ricottura (ricottura completa o isoterma). In pratica però sugli acciai inossidabili martensitici si effettua una ricottura subcritica, ossia un trattamento termico a temperature dell'ordine di 730°-830°C per alcune ore, seguita da un lento raffreddamento in forno o in aria: si ottiene una struttura perlitica globulare avente limitata durezza e caratterizzata da una matrice di fase α con carburi globulari.

Durante l'esecuzione dei trattamenti termici degli acciai inossidabili martensitici si deve sempre porre particolare attenzione ai fenomeni di decarburazione superficiale e a quelli di ossidazione a caldo del cromo, a causa dell'ossigeno presente nell'atmosfera di trattamento. Per ovviare a tutto ciò si ricorre, in molti casi, a processi di trattamento in forni ad atmosfera controllata di tipo neutro o riducente (atmosfera di azoto o azoto/idrogeno).

Il processo tecnologico che porta all'ottenimento di un componente realizzato in acciaio inossidabile martensitico (come ad esempio un albero di trasmissione di potenza per applicazioni nel settore marino), prevede di utilizzare un semilavorato allo stato ricotto: su di esso verranno eseguite tutte le necessarie lavorazioni di sgrossatura alle macchine utensili per portarlo a dimensioni prossime a quelle del pezzo finito, a meno di un adeguato sovrametallo.



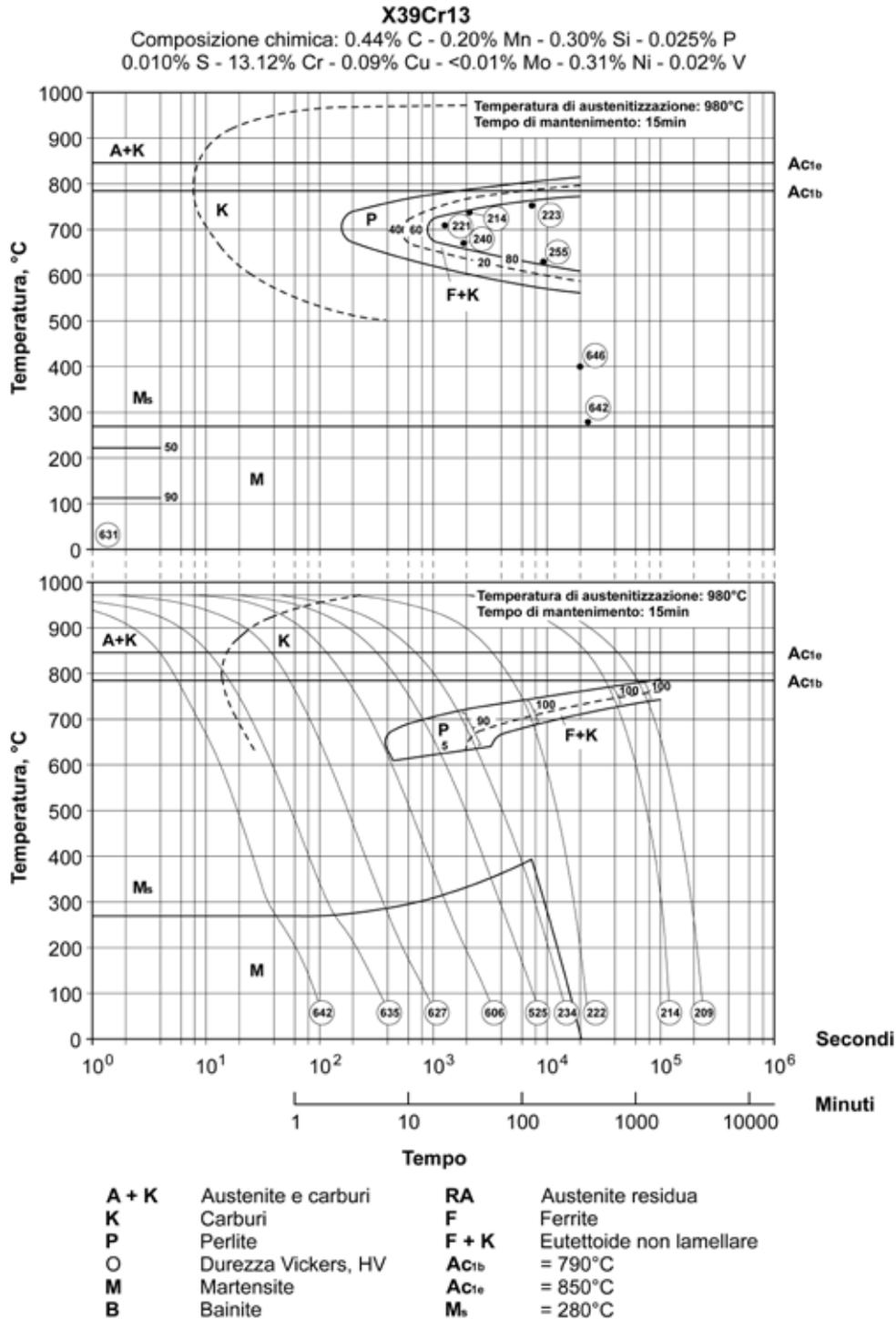


Figura 17 – Curve di trasformazione isoterma (curve TTT) e curve di trasformazione anisoterma (curve CCT) per l'acciaio inossidabile martensitico tipo X39Cr13 (simile all'AISI 420) [tratto da Wever et al. 1954/56/58].



Il semilavorato, sgrossato di macchina utensile, viene poi sottoposto al trattamento di bonifica: ciò gli conferirà le proprietà meccaniche e le caratteristiche di resistenza alla corrosione, atte a garantire il buon comportamento in esercizio. Da ultimo verranno eseguite le lavorazioni meccaniche di finitura alle macchine utensili, per ottenere un componente avente le dimensioni e le tolleranze richieste sul pezzo finito.

Uno schema del processo tecnologico di ottenimento di un pezzo in acciaio inossidabile martensitico è mostrato in figura 18.

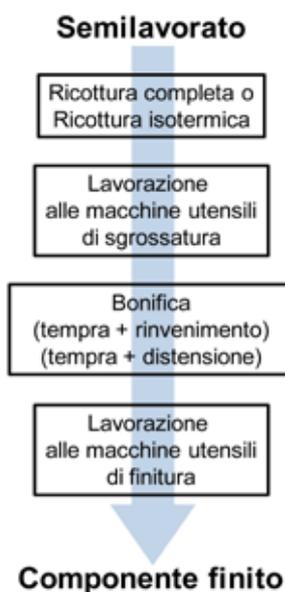


Figura 18 – Processo tecnologico di ottenimento di un componente in acciaio inossidabile martensitico.

In relazione al trattamento termico di bonifica degli acciai inossidabili martensitici sono però doverose alcune importanti precisazioni.

La fase di riscaldamento durante il trattamento di tempra deve essere gestita con cura. Gli acciai inossidabili martensitici, come del resto tutti gli acciai inossidabili, hanno una scarsa conduttività termica: per evitare deformazioni permanenti dei pezzi, o peggio rotture, è opportuno effettuare il riscaldamento in modo controllato (ad esempio un riscaldamento a gradini con un preriscaldamento tra i 550°C e gli 800°C), specialmente in semilavorati di grosse dimensioni e/o con geometrie complesse.

Per quanto riguarda la successiva fase di austenitizzazione si dovrà prevedere una temperatura più elevata di quelle abitualmente impiegate per i comuni acciai da bonifica: gli acciai inossidabili martensitici vengono infatti riscaldati e mantenuti a temperature dell'ordine di 950°-1100°C¹⁴. Oltre a rendere austenitica la struttura, tali elevate temperature sono necessarie per favorire, quanto più possibile, la solubilizzazione dei carburi presenti, rendendo così disponibile il carbonio in soluzione solida per l'indurimento della

¹⁴ Al crescere del tenore di carbonio (e di cromo) cresce proporzionalmente la temperatura di austenitizzazione dell'acciaio.

martensite durante la successiva fase di tempra (vedi figura 19). Esiste una temperatura ottimale di austenitizzazione oltre la quale i fenomeni di ingrossamento del grano divengono prevalenti con un conseguente peggioramento delle caratteristiche resistenziali dell'acciaio (vedi figura 20).

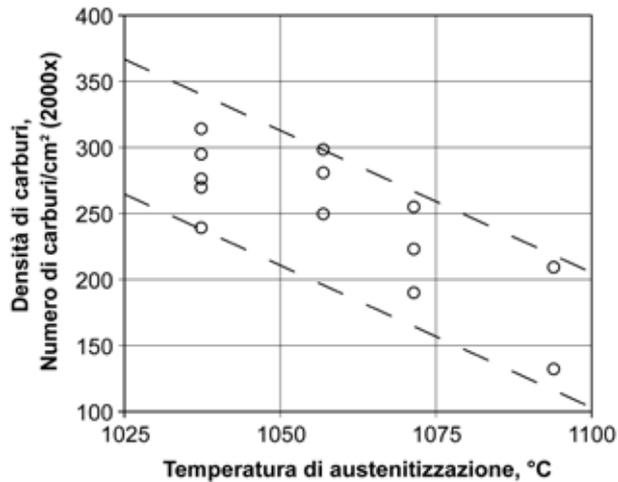


Figura 19 – Effetto della temperatura di austenitizzazione sulla densità di carburi di cromo presenti dopo tempra su un acciaio inossidabile martensitico con 0,65%C - 12,8% Cr - 0,4%Si - 0,65%Mn [tratto da Verhoeven 2007].

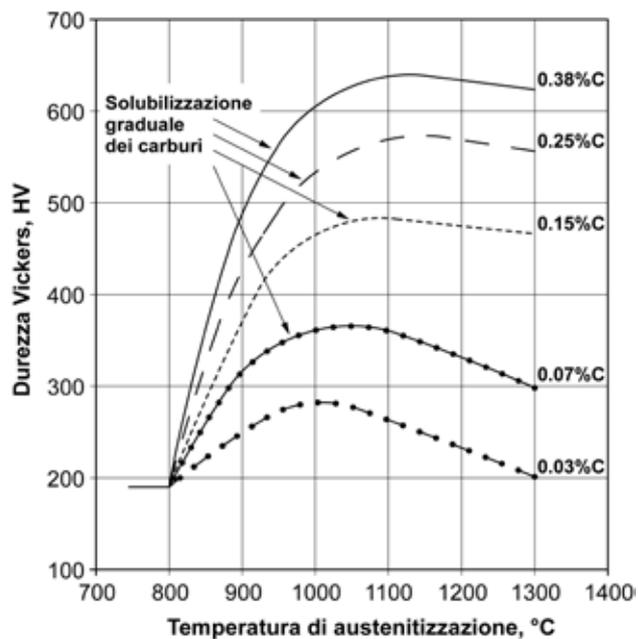


Figura 20 – Effetto della temperatura di austenitizzazione sulla durezza di un acciaio inossidabile martensitico al 13%Cr con tenori crescenti di carbonio (temprato in olio quindi disteso a 200°C) [tratto da Lacombe et al. 1993].



La temperatura di austenitizzazione degli acciai inossidabili martensitici non deve essere incrementata a piacimento: ciò aumenterebbe il rischio di ingrossamento del grano cristallino e la probabilità di ottenimento di austenite residua a temperatura ambiente, soprattutto in acciai ad alto tenore di carbonio (vedi figura 21).

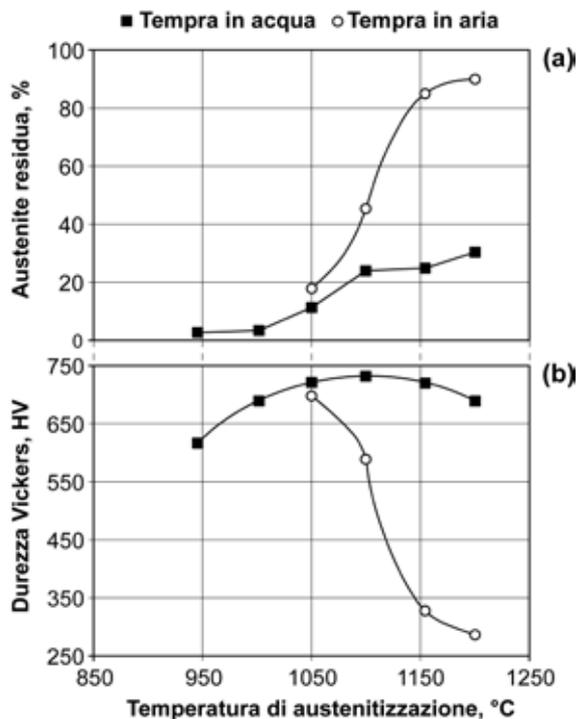


Figura 21 – Effetto della temperatura di austenitizzazione e della modalità di tempra sulla durezza e sulla quantità di austenite residua in un acciaio inossidabile martensitico con 0,4%C - 16%Cr - 0,9%Mo - 0,5%Ni [tratto da Lacombe et al. 1993].

A causa della loro particolare composizione chimica gli acciai inossidabili martensitici, come osservato in precedenza, sono acciai autotempranti e prendono tempra anche per semplice raffreddamento all'aria; molto spesso, tuttavia, può essere previsto il raffreddamento in olio (tempra in olio), specie su pezzi di medie-grosse dimensioni, per rendere più omogenea la microstruttura e più uniforme il comportamento meccanico lungo la sezione resistente del componente.

Anche la fase di rinvenimento, sempre necessaria dopo il trattamento di tempra, ha le sue peculiarità.

Il rinvenimento viene eseguito per attenuare la fragilità della martensite di piena tempra e per ridurre le tensioni residue indotte nei pezzi dal trattamento di tempra.

Nel caso degli acciai inossidabili martensitici il rinvenimento viene effettuato o a bassa temperatura (a temperature inferiori ai 400°C) oppure ad alta temperatura (oltre i 640°C). Grande cura viene posta nell'evitare che il rinvenimento si collochi nell'intervallo tra i 450°C e i 600°C: tale intervallo è considerato



critico poiché si manifestano fenomeni di decadimento della resistenza alla frattura fragile (una sorta di fragilità da rinvenimento) ed un significativo peggioramento della resistenza alla corrosione (vedi figura 22).

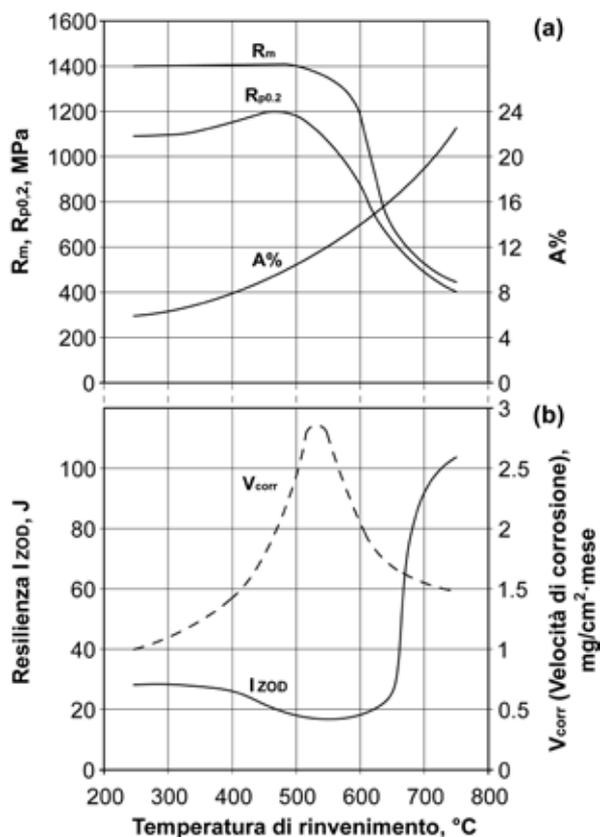


Figura 22 – Effetto della temperatura di rinvenimento sulle caratteristiche meccaniche e di resistenza alla corrosione di un acciaio inossidabile martensitico tipo X20Cr13 (simile all’AISI 420) [tratto da Sedriks 1996].

Rinvenendo gli acciai inossidabili martensitici a temperature inferiori ai 400°C (si parla, in questi casi, di distensione) si ottengono le massime durezza e le più elevate resistenze tensili ed alla corrosione. Anche se permane una certa fragilità della struttura martensitica non rinvenuta a fondo, la distensione è la modalità prescritta dalla normativa ed eseguita normalmente a livello industriale su componenti di piccola dimensione in acciaio inossidabile martensitico.

In alternativa si può effettuare il rinvenimento ad una temperatura maggiore di 640°C (fino ad un massimo anche di 750°C): in questo secondo caso si avrà maggiore resilienza e tenacità a frattura dell’acciaio (rispetto al caso della distensione a temperature inferiori ai 400°C), unitamente però ad una più limitata durezza ed una minore resistenza alla corrosione.

Una sintesi delle modalità di trattamento termico per alcuni tra i più comuni acciai inossidabili martensitici è mostrata in tabella 3.



Designazione EN	Ricottura Ricottura subcritica	Raffreddamento in	Austenitizzazione	Tempra in	Rinvenimento Distensione	Corrispondenza approssimata AISI
X12Cr13 (1.4006)	820°C-900°C 730°C-790°C	forno aria calma	930°C-1010°C	olio, aria	600°C-750°C 150°C-400°C	AISI 410
X12CrS13 (1.4005)	820°C-900°C 730°C-790°C	forno aria calma	930°C-1010°C	olio, aria	600°C-750°C 150°C-400°C	AISI 416
X20Cr13 (1.4021)	840°C-900°C 730°C-790°C	forno aria calma	950°C-1050°C	olio, aria	600°C-750°C 150°C-400°C	AISI 420 (420A*)
X30Cr13 (1.4028)	840°C-900°C 730°C-790°C	forno aria calma	950°C-1050°C	olio, aria	600°C-700°C 150°C-400°C	AISI 420 (420B*)
X39Cr13 (1.4031)	840°C-900°C 730°C-790°C	forno aria calma	950°C-1050°C	olio, aria	600°C-700°C 150°C-400°C	AISI 420 (420C*)
X29CrS13 (1.4029)	840°C-900°C 730°C-790°C	forno aria calma	950°C-1050°C	olio, aria	600°C-700°C 150°C-400°C	AISI 420F
X17CrNi16-2 (1.4057)	840°C-900°C 680°C-790°C	forno aria calma	950°C-1050°C	olio, aria	600°C-700°C 150°C-400°C	AISI 431
X105CrNiMo17 (1.4125)	840°C-900°C 730°C-770°C	forno aria calma	1010°C-1070°C	olio, aria	150°C-400°C	AISI 440C
X3CrNiMo13-4 (1.4313)	formatura a caldo**	aria	950°C-1050°C	olio, aria	600°C-700°C	---
X4CrNiMo16-5-1 (1.4418)	formatura a caldo**	aria	950°C-1050°C	olio, aria	600°C-700°C	---

*La denominazione indicata non si riferisce al manuale AISI; spesso ci si riferisce ad essa col termine "tipo" (ad es. tipo 420B)

** Questi acciai vengono raffreddati in aria dopo deformazione plastica a caldo e possono essere usati tal quale o possono venire temprati e rinvenuti.

Tabella 3 – Caratteristiche indicative del trattamento termico di alcuni tra i principali tipi acciai inossidabili martensitici.



6.3 Proprietà fisiche e meccaniche

Gli acciai inossidabili martensitici hanno caratteristiche fisiche molto simili a quelle dei comuni acciai da bonifica, condividendo con questi ultimi la medesima microstruttura martensitica rinvenuta (vedi tabella 4). Le proprietà meccaniche degli acciai inossidabili martensitici dipendono dal trattamento termico effettuato. Mentre allo stato ricotto si ottengono valori di durezza dell'ordine di 160-250 HB, allo stato bonificato la maggior parte degli acciai inossidabili martensitici ha una resistenza unitaria a trazione R_m che oscilla tra i 700 MPa e i 1700 MPa a seconda della composizione chimica e delle condizioni di rinvenimento; il limite di fatica in aria si attesta a valori dell'ordine di $0,45 \cdot R_m$.

In tabella 5 sono indicate le caratteristiche meccaniche ottenibili per ciascuna tipologia di acciaio inossidabile martensitico in funzione del differente trattamento effettuato.

Anche la resistenza alla frattura fragile è fortemente dipendente dalla composizione chimica e dalle condizioni di trattamento termico dell'acciaio. Al crescere del tenore di carbonio, di fosforo e della dimensione media del grano cristallino (cioè al crescere della temperatura di austenitizzazione), la resilienza dell'acciaio peggiora, così come aumenta la temperatura di transizione.

In figura 23 è mostrato l'andamento delle curve di transizione per alcuni acciai inossidabili martensitici di uso comune: si osserva un comportamento del tutto simile a quello degli acciai speciali da bonifica di normale impiego industriale.

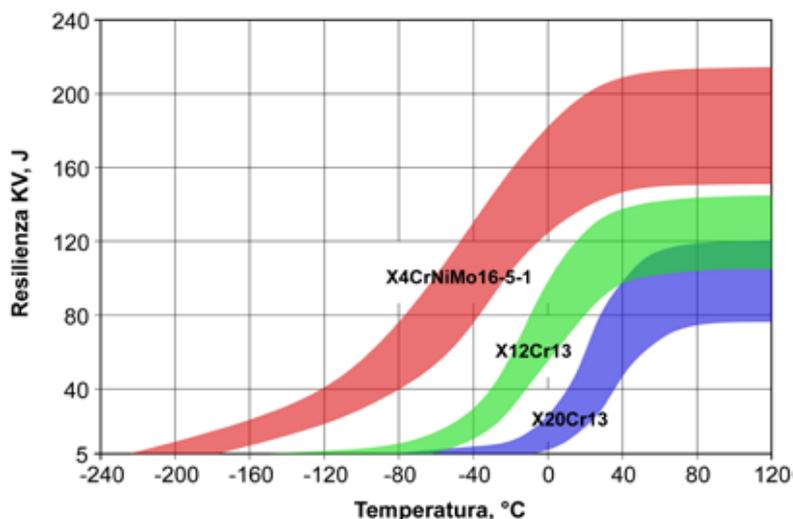


Figura 23 – Curve di transizione per alcuni tipici acciai inossidabili martensitici dopo tempra e rinvenimento a 650°C.



Designazione EN	Massa volumica [kg/dm ³]	Calore specifico a 20°C [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	Resistività elettrica a 20°C [W·mm ² ·m ⁻¹]	Conducibilità termica [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Dilatazione termica lineare [10 ⁻⁶ ·K ⁻¹]		Modulo elastico [GPa]		Corrispondenza approssimata AISI
					da 20°C a 100°C	da 20°C a 200°C	a 20°C	a 200°C	
X12Cr13 (1.4006)	7,7	460	0,60	30	10,5	11,0	215	205	AISI 410
X12CrS13 (1.4005)	7,7	460	0,60	30	10,5	11,0	215	205	AISI 416
X20Cr13 (1.4021)	7,7	460	0,60	30	10,5	11,0	215	205	AISI 420 (420A*)
X30Cr13 (1.4028)	7,7	460	0,65	30	10,5	11,0	215	205	AISI 420 (420B*)
X39Cr13 (1.4031)	7,7	460	0,55	30	10,5	11,0	215	205	AISI 420 (420C*)
X29CrS13 (1.4029)	7,7	460	0,55	30	10,5	---	215	205	AISI 420F
X17CrNi16-2 (1.4057)	7,7	430	0,70	25	10,0	10,5	215	205	AISI 431
X105CrNiMo17 (1.4125)	7,7	460	0,80	15	10,4	10,8	215	205	AISI 440C
X3CrNiMo13-4 (1.4313)	7,7	430	0,60	25	10,5	10,9	200	185	---
X4CrNiMo16-5-1 (1.4418)	7,7	430	0,80	15	10,3	10,8	200	185	---

*La denominazione indicata non si riferisce al manuale AISI; spesso ci si riferisce ad essa col termine "tipo" (ad es. tipo 420B)

Tabella 4 – Caratteristiche fisiche indicative di alcuni tra i principali tipi di acciaio inossidabile martenisitico [tratto da EN 10088].





Designazione EN	Stato metallurgico	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	A [%]	Durezza	Corrispondenza approssimata AISI
X12Cr13 (1.4006) X12CrS13 (1.4005)#	A A + CD** Q T 200°C Q T 350°C Q T 650°C	300-400 450-900 1000-1250 950-1150 550-700	500-600 650-1000 1350-1500 1250-1400 650-850	18-28 12-18 11-16 11-17 18-24	160-200 HB --- 42-46 HRC 40-44 HRC 16-24 HRC	AISI 410 AISI 416
X20Cr13 (1.4021) X17CrNi16-2 (1.4057)	A A + CD** Q T 200°C Q T 350°C Q T 650°C	350-450 500-900 1050-1300 1000-1200 600-800	550-700 700-1100 1350-1550 1250-1450 750-950	16-26 12-18 11-16 11-17 16-20	220-260 HB --- 42-46 HRC 40-44 HRC 21-25 HRC	AISI 420 (420A*) AISI 431
X30Cr13 (1.4028) X39Cr13 (1.4031) X29CrS13 (1.4029)#	A A + CD** Q T 200°C Q T 350°C Q T 650°C	350-450 600-1000 1250-1400 1200-1350 650-900	550-700 700-1200 1550-1750 1450-1650 800-1050	14-24 10-16 10-15 10-16 14-18	180-220 HB --- 48-52 HRC 45-49 HRC 22-28 HRC	AISI 420 (420B*) AISI 420 (420C*) AISI 420F
X105CrMo17 (1.4125)	A A + CD** Q T 200°C Q T 350°C	400-550 600-900 1650-1900 1600-1750	650-800 750-1100 1900-2100 1750-1900	12-20 8-14 4-8 4-8	230-270 HB --- 56-60 HRC 54-58 HRC	AISI 440C
X3CrNiMo13-4 (1.4313) X4CrNiMo16-5-1 (1.4418)	Formato a caldo Q T 650°C	550-750 650-850	650-900 750-1000	18-24 16-22	16-24 HRC 24-32 HRC	---

*La denominazione indicata non si riferisce al manuale AISI; spesso ci si riferisce ad essa col termine "tipo" (ad es. tipo 420B)

A: ricotto (Annealed)

A + CD: ricotto (Annealed) e trafilato (Cold Drawn)

Q T: temprato (Quenched) e rinvenuto (Tempered) alla temperatura indicata

** I valori delle caratteristiche meccaniche nella condizione A + CD sono assai variabili poiché dipendono molto dalle condizioni di incrudimento

I tipi allo zolfo presentano un allungamento a rottura leggermente inferiore ai tipi equivalenti ma senza zolfo.

Tabella 5 – Caratteristiche meccaniche indicative di alcuni tra i principali tipi di acciaio inossidabile martensitico.

6.4 Tipi ed applicazioni

I semilavorati in acciaio inossidabile martensitico presenti sul mercato sono allo stato ricotto o pre-bonificato, prevalentemente in forma di prodotti lunghi (barre e tondi); solo per alcune tipologie vengono realizzati semilavorati piani (nastri e lamiere), specialmente per il settore delle lame da taglio.

Gli acciai inossidabili martensitici più comunemente impiegati in ambito industriale sono l'X30Cr13 (simile all'AISI420¹⁵) e l'X12Cr13 (simile all'AISI 410): tra i due, il primo garantirà maggiore durezza avendo un tenore di carbonio più elevato mentre il secondo sarà invece caratterizzato da una maggiore tenacità.

Questi due acciai vengono largamente impiegati ove sia richiesta elevata resistenza meccanica e all'usura. La resistenza alla corrosione è buona, specialmente in ambienti rurali, in acque dolci non contaminate da cloruri, a contatto con sostanze alimentari o con acidi deboli (come ad esempio gli acidi organici), con i prodotti petroliferi (grezzi ed intermedi) e con soluzioni ossidanti (cromati, permanganati, ecc.).

Vengono molto utilizzati per la produzione di coltelleria da tavola, lame da taglio industriali, strumenti chirurgici, rasoi, forbici, calibri, canne per mitragliatrici, dischi freno per motoveicoli; si segnalano anche impieghi nel settore degli stampi per materie plastiche e delle molle.

Un altro specifico impiego di questi acciai è legato alla fabbricazione di alberi di trasmissione di potenza in ambienti blandamente aggressivi, palette di turbina a vapore o palette di compressore, bielle, bussole di pompe e compressori, filtri, rubinetterie, viterie, manigliame, monete e medaglie.

Il tipo X29CrS13 (simile all'AISI420F) e il tipo X12CrS13 (simile all'AISI 416) sono analoghi ai due acciai precedentemente descritti (X30Cr13 e X12Cr13) ma con lavorabilità migliorata a causa della presenza di tenori significativi di zolfo (attorno allo 0,2%). Di conseguenza la tenacità sarà limitata e, soprattutto la saldabilità risulterà assai difficoltosa. La resistenza alla corrosione, inoltre, è leggermente inferiore a quella dei medesimi acciai senza zolfo.

Il tipo X17CrNi16-2 (simile all'AISI 431¹⁶) è un acciaio molto più resistente alla corrosione rispetto a quelli descritti in precedenza a causa del maggiore tenore di cromo in lega; esso inoltre possiede anche una superiore tenacità a motivo della presenza di nichel (assente nei tipi X30Cr13 e X12Cr13).

L'acciaio X17CrNi16-2 viene impiegato, in particolare, per alberi di motori marini, alberi portaelica, parti di pompe, alberi di macchine idrauliche, valvolame, palette di turbina e componenti resistenti all'usura in impianti petroliferi di reforming.

¹⁵ È prassi distinguere l'acciaio AISI 420 in tre sottogruppi a basso, medio ed elevato tenore di carbonio. Il tipo 420A con tenore di carbonio medio pari a 0,2%, il tipo 420B con tenore di carbonio medio pari a 0,3% e il tipo 420C con tenore di carbonio medio pari a 0,4%: al crescere del tenore di carbonio aumenterà proporzionalmente la durezza e, nel contempo, la sensibilità alla formazione di carburi (si noti che 420A, 420B e 420C sono sigle usate abitualmente anche se non compaiono nel manuale AISI).

¹⁶ Di fatto la normativa AISI prevede due acciai inossidabili martensitici contenenti tenori di nichel compresi tra 1,25% e 2,5%: l'AISI 414 e l'AISI 431. L'AISI 414 prevede un tenore di carbonio dell'ordine di 0,15% mentre per l'AISI 431 esso si aggira attorno a 0,20%. Nel caso della EN 10088 l'X17CrNi16-2 prevede un tenore di carbonio compreso tra 0,12% e 0,22%.



Segnaliamo poi il tipo X105CrMo17 (simile all'AISI 440C¹⁷): tale acciaio, a causa del tenore rilevante di cromo e carbonio, possiede buona resistenza alla corrosione (confrontabile a quella del tipo X12Cr13) ed ha, dopo bonifica, eccellente durezza e resistenza all'usura; la tenacità a frattura è invece piuttosto bassa. Viene utilizzato per parti resistenti all'usura ed all'ossidazione o all'usura ed alla corrosione, come ad esempio per la realizzazione di catene operanti ad alta temperatura, cuscinetti a sfere speciali e strumenti chirurgici per particolari impieghi.

Da ultimo i tipi X3CrNiMo13-4 e X4CrNiMo16-5-1, denominati anche "super-martensitici", che rappresentano due esempi di acciai inossidabili martensitici a basso tenore di carbonio con nichel e molibdeno: tali materiali, al termine del processo di fabbricazione (ad esempio a valle della laminazione a caldo), hanno buona resistenza meccanica ed elevata tenacità, anche senza effettuare il trattamento termico.

I prodotti tubolari realizzati con questi acciai vengono utilizzati nel settore chimico e petrolchimico come vettori di fluidi o come elementi strutturali o, anche, per la costruzione di scambiatori di calore: essi hanno ottima resistenza all'aggressione in ambienti ricchi di H₂S e CO₂, dove possono essere utilizzati senza l'impiego di inibitori di corrosione.

¹⁷ La normativa AISI prevede un tipo a basso carbonio (AISI 440A con C = 0,60-0,75%), a medio carbonio (AISI 440B con C = 0,75-0,95%) e ad alto tenore di carbonio (AISI 440C con C = 0,95-1,20%).



7. ACCIAI INOSSIDABILI FERRITICI

7.1 Metallurgia

Qualora la presenza di cromo in lega raggiunga livelli dell'ordine del 17% (o anche maggiori) e, contemporaneamente, venga ridotta al minimo la presenza di carbonio (tenori inferiori allo 0,1%), l'effetto ferritizzante del cromo non è più controbilanciato dall'azione austenitizzante del carbonio e, come prevede il diagramma di Schaeffler, l'acciaio inossidabile avrà struttura ferritica a temperatura ambiente: questo è esattamente ciò che avviene nell'acciaio X6Cr17 (simile all'AISI 430), capostipite degli acciai inossidabili ferritici. Gli acciai inossidabili ferritici presenti sul mercato non sono però limitati soltanto a questa composizione chimica: esistono infatti varie tipologie, suddivisibili *grasso modo* in tre famiglie in relazione al tenore di cromo presente in lega.

In figura 24 è schematizzata la logica "metallurgica" che ha portato alla creazione delle principali tipologie di acciai inossidabili ferritici presenti sul mercato a partire dall'X6Cr17, capostipite di questa famiglia; in tabella 6 è invece riportata la composizione chimica di alcuni tra i principali tipi di acciai inossidabili ferritici e la relativa designazione secondo la norma EN 10088.

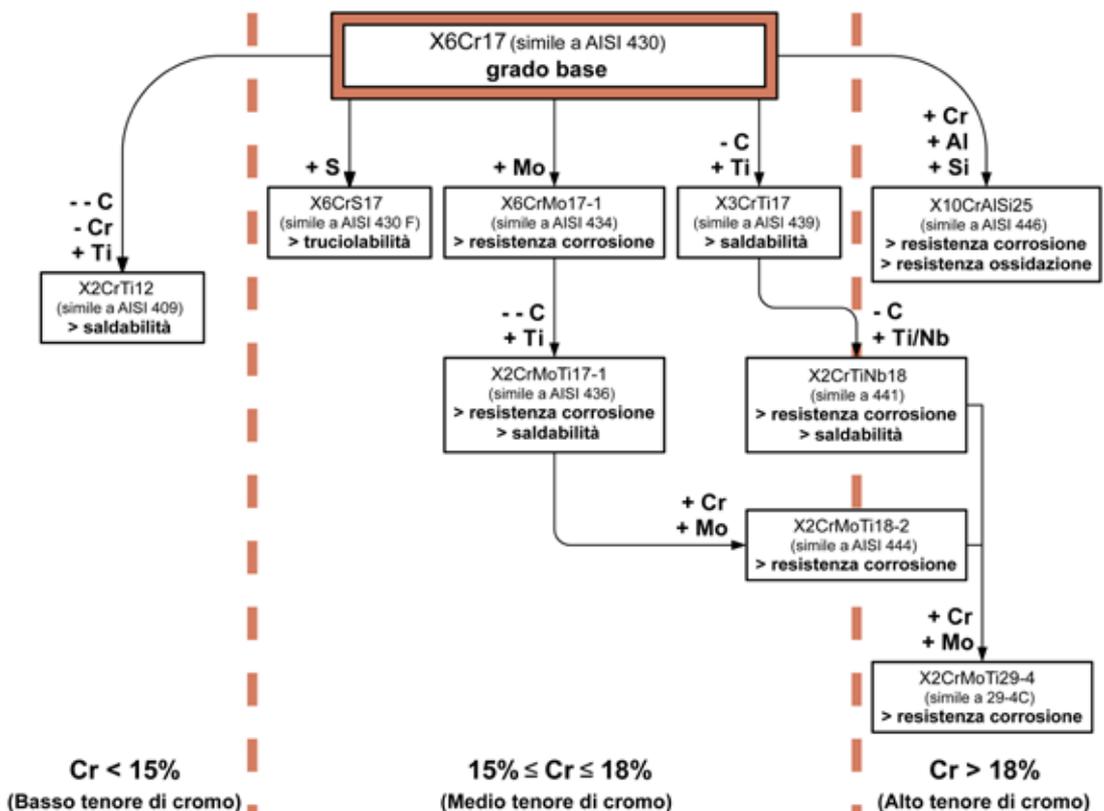


Figura 24 – Schema dei principali tipi di acciai inossidabili ferritici a partire dall'X6Cr17 (simile all'AISI 430), capostipite di questa famiglia.





Designazione EN	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	Altri	Corrispondenza approssimata AISI
X2CrTi12 (1.4512)	≤0,03	≤1,00	≤1,00	≤0,040	≤0,015	10,5-12,5	---	1	AISI 409
X6Cr17 (1.4016)	≤0,08	≤1,00	≤1,00	≤0,040	≤0,015	16,0-18,0	---	---	AISI 430
X6CrMoS17 (1.4105)	≤0,08	≤1,50	≤1,50	≤0,040	0,15-0,35	16,0-18,0	0,20-0,60	---	AISI 430F
X3CrTi17 (1.4510)	≤0,05	≤1,00	≤1,00	≤0,040	≤0,015	16,0-18,0	---	2	AISI 439 (430Ti*)
X6CrMo17-1 (1.4113)	≤0,08	≤1,00	≤1,00	≤0,040	≤0,015	16,0-18,0	0,90-1,40	---	AISI 434
X2CrMoTi17-1 (1.44513)	≤0,025	≤1,00	≤1,00	≤0,040	≤0,015	16,0-18,0	0,80-1,40	3	AISI 436
X2CrMoTi18-2 (1.4521)	≤0,025	≤1,00	≤1,00	≤0,040	≤0,015	17,0-20,0	1,80-2,50	4	AISI 444
X2CrTiNb18 (1.4509)	≤0,03	≤1,00	≤1,00	≤0,040	≤0,015	17,5-18,5	---	5	441*
X10CrAlSi25 (1.4762)	≤0,12	0,70-1,40	≤1,00	≤0,040	≤0,015	23,0-26,0	---	6	AISI 446
X2CrMoTi29-4 (1.4592)	≤0,025	≤1,00	≤1,00	≤0,030	≤0,010	28,0-30,0	3,50-4,20	7	29-4C*

* La denominazione indicata non si riferisce al manuale AISI; spesso ci si riferisce ad essa col termine "tipo" (ad es. tipo 441).

1: %Ti = $[6 \times (C + N)] - 0,65$

2: %Ti = $[4 \times (C + N) + 0,15] - 0,80$

3: $0,30 \leq \%Ti \leq 0,60$; %N $\leq 0,020$

4: %Ti = $[4 \times (C + N) + 0,15] - 0,80$; %N $\leq 0,030$

5: $0,10 \leq \%Ti \leq 0,60$; $[3 \times C + 0,30] \leq \%Nb \leq 1,00$

6: $1,20 \leq \%Al \leq 1,70$; $1,20 \leq \%Si \leq 1,70$

7: %Ti = $[4 \times (C + N) + 0,15] - 0,80$; %N $\leq 0,045$

Tabella 6 – Composizione chimica di alcuni tra i principali tipi di acciaio inossidabile ferritico [tratto da EN 10088].

La prima famiglia, a cui appartiene anche il già citato X6Cr17, ha un tenore di cromo oscillante tra il 15,5% e il 18%: tale famiglia è la più numerosa quanto a tipologie di leghe presenti sul mercato.

Esistono poi anche altre due famiglie, l'una caratterizzata da tenori di cromo compresi tra l'11,5% e il 14,5% (acciai inossidabili ferritici a basso tenore di cromo) e l'altra avente un contenuto di cromo maggiore del 18% (detti anche acciai inossidabili "superferritici").

In tutte le tre famiglie sopradescritte – a basso, medio ed elevato tenore di cromo – possono essere presenti anche altri elementi di lega: tra questi l'alluminio e il silicio atti a stabilizzare la struttura ferritica e a migliorare la resistenza all'ossidazione a caldo, il molibdeno, necessario per migliorare la resistenza alla corrosione, il titanio e il niobio, per impedire la precipitazione dei deleteri carburi di cromo.

Per un'idea più completa della struttura di un generico acciaio inossidabile ferritico con alto tenore di cromo e bassissimo contenuto di carbonio è necessario, come sempre, considerare il diagramma di stato di riferimento. Si osservi, a questo proposito, come si modifica l'originario diagramma Fe-Cr (già mostrato in figura 5) a causa della presenza di un quantitativo di carbonio dell'ordine dello 0,05% (figura 25).

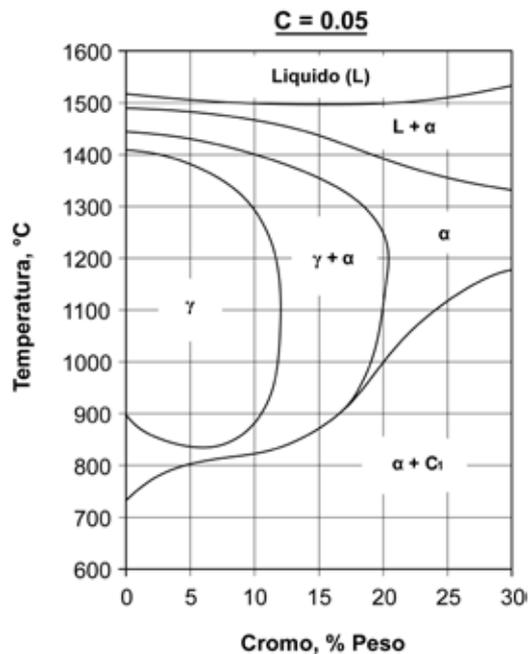


Figura 25 – Sezione binaria Fe-Cr del diagramma ternario Fe-Cr-C per un acciaio contenente lo 0,05% di carbonio; C₁ carburi tipo (Cr,Fe)₂₃C₆ [tratto da McGuire 2008].

Per l'acciaio inossidabile ferritico tipo X6Cr17 si osserva un'iniziale solidificazione in fase α seguita da una trasformazione di tipo bifasico γ+α; successivamente, da temperature dell'ordine di 900°-950°C fino alla



temperatura ambiente¹⁸, l'acciaio ritorna nuovamente ad essere monofasico α con struttura costituita da grani di ferrite.

Se quindi si provasse a temprare tale acciaio, riscaldandolo ad esempio attorno a 800°C e poi raffreddandolo in acqua, non si otterrebbe alcuna particolare modificazione strutturale e, dopo il raffreddamento, non si avrebbe nessuno specifico incremento di resistenza. Nell'intervallo di temperatura 20°-900°C sono infatti assenti i punti critici che permettono la trasformazione austenite \rightarrow martensite: ciò significa che non sarà possibile effettuare il classico trattamento termico di tempra che permette di incrementare le caratteristiche tensili dell'acciaio (come invece avviene nel caso degli acciai inossidabili martensitici).

Al di sopra di 900°-950°C è presente, come osservato in precedenza, un campo bifasico di ferrite e austenite¹⁹: questa è una caratteristica tipica degli acciai inossidabili ferritici non stabilizzati al 16-17% di cromo.

Da un lato la presenza di piccole percentuali di austenite ad alta temperatura è positiva poiché così si riesce ad evitare un eccessivo ingrossamento del grano cristallino durante i trattamenti termici di ricottura.

Per contro, però, l'esistenza di austenite ad alta temperatura va tenuta in debita considerazione a causa di un altro problema aggiuntivo: se da tali elevate temperature si effettuasse un rapido raffreddamento, come capita ad esempio nelle operazioni di saldatura, l'austenite potrebbe trasformarsi in martensite causando problemi di fragilità intergranulare nell'acciaio.

Quando invece l'acciaio inossidabile ferritico contiene elementi stabilizzanti, quali titanio e niobio, e/o un elevato tenore di cromo (maggiore del 18%) o molibdeno (1-2%), la sua microstruttura sarà completamente ferritica, a partire dalla temperatura di fusione fino alla temperatura ambiente: ciò migliora notevolmente la saldabilità di questi acciai rispetto a quelli tradizionali non stabilizzati.

Un ulteriore problema metallurgico tipico degli acciai inossidabili, a cui anche i ferritici non fanno eccezione, è legato alla precipitazione di carburi di cromo tipo $Cr_{23}C_6$: come è noto ciò si manifesta a motivo della grande affinità esistente tra il cromo e il carbonio e può provocare fenomeni di corrosione intergranulare nel materiale. Poiché la solubilità del carbonio nel reticolo cubico a corpo centrato è limitatissima, la precipitazione dei carburi negli acciai inossidabili ferritici è un fenomeno praticamente ineliminabile. D'altra parte, a causa dell'elevata diffusività del cromo nel reticolo della fase α , i gradienti di cromo in prossimità del bordo grano ferritico sono molto meno pronunciati rispetto a quanto si manifesta negli acciai inossidabili austenitici (si riconsideri a questo proposito la figura 10, in particolare il caso "a"): conseguentemente i problemi di corrosione intergranulare degli acciai inossidabili ferritici, per effetto della precipitazione dei carburi a bordo grano, saranno meno accentuati rispetto a quanto avviene negli acciai inossidabili austenitici.

¹⁸ La temperatura a cui avviene la transizione dalla struttura bifasica $\gamma+\alpha$ alla struttura monofasica α dipende dal tenore di cromo della lega. Il valore indicato di 900°-950°C è rappresentativo per un acciaio con tenori di cromo dell'ordine del 17%, se il tenore di cromo fosse maggiore anche la temperatura aumenterebbe proporzionalmente; al contrario per un tenore di cromo minore.

¹⁹ L'entità dell'austenite presente ad alta temperatura negli acciai inossidabili ferritici non stabilizzati è comunque contenuta: essa si aggira attorno al 20% al massimo.



Per annullare il problema dei carburi di cromo è spesso necessario agire all'origine, ossia in fase di elaborazione dell'acciaio allo stato liquido: vengono perciò aggiunti elementi stabilizzanti, quali titanio e niobio, e si cerca di ridurre quanto più possibile il tenore di carbonio nella composizione chimica dell'acciaio. Inoltre, come si dirà meglio nel prossimo paragrafo, è sempre opportuno effettuare sui semilavorati un trattamento termico di ricottura completa prima di porli in esercizio.

Sempre in relazione ai fenomeni di degrado indotti dalla temperatura, due ulteriori problemi vanno annoverati in relazione agli acciai inossidabili ferritici: la formazione della fase σ e l'infragilimento a 475°C. A causa degli effetti deleteri in termini di resistenza alla corrosione e tenacità, il problema della formazione della fase σ (fase Fe-Cr) è da tenere in debita considerazione esclusivamente per quanto riguarda gli acciai molto ricchi in cromo e molibdeno (superferritici); in tali acciai, inoltre, la presenza di molibdeno favorisce anche la formazione di ulteriori fasi dannose, quali la fase χ e la fase di Laves (in entrambi i casi si tratta di fasi Fe-Cr-Mo).

Per eliminare le eventuali fasi secondarie presenti (σ , χ , Laves) è necessario riscaldare l'acciaio a temperature dell'ordine di 1050°C, effettuando quindi un rapido raffreddamento in acqua del semilavorato: ciò permette di solubilizzare i composti del cromo impedendo che si riformino durante il raffreddamento.

Un tipico esempio dei diagrammi che descrivono la formazione dei carburi e delle fasi secondarie al variare della temperatura e del tempo di esposizione della lega ferro-cromo è mostrato in figura 26.

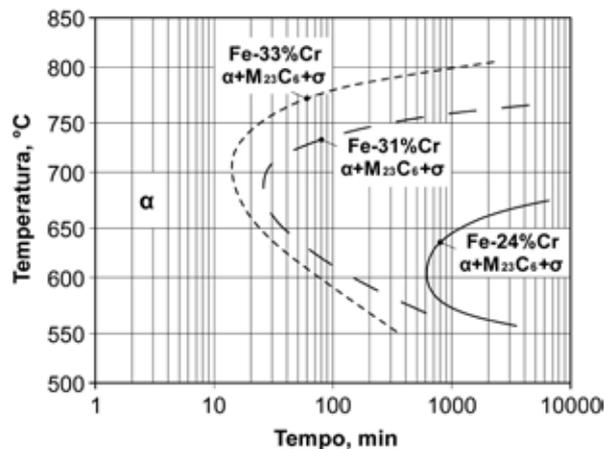


Figura 26 – Diagramma tempo-temperatura rappresentativo della formazione di carburi di cromo e fase σ in differenti leghe Fe-Cr [tratto da Vander Voort 1991].

L'infragilimento a 475°C è un problema certamente molto più rilevante rispetto alla formazione della fase σ : esso interessa infatti un gruppo più ampio di acciai inossidabili ferritici, rimanendo esclusi soltanto quelli con un tenore di cromo molto basso ($Cr < 14\%$).



Anche in questo caso, per descrivere il fenomeno, sono disponibili diagrammi tempo-temperatura come quello mostrato in figura 27 o diagrammi che mostrano la diminuzione della resilienza in funzione della temperatura di infragilimento al variare del tempo di esposizione (vedi figura 28).

L'effetto deleterio dell'infragilimento a 475°C viene annullato eseguendo una ricottura a temperature attorno ai 550°-600°C per tempi tali da non indurre però la formazione di carburi/fase σ ; il successivo raffreddamento dovrà essere effettuato in aria o in acqua.

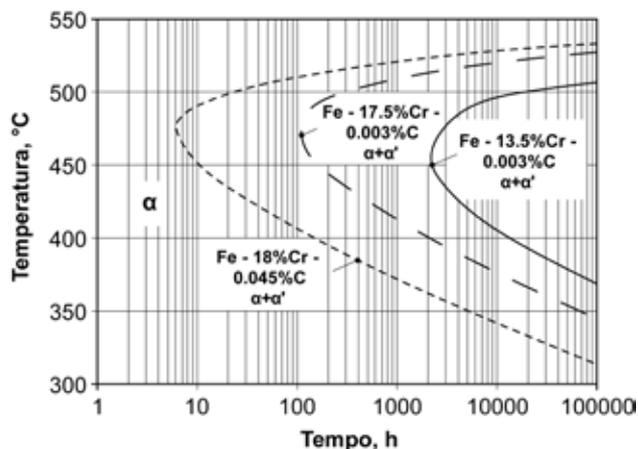


Figura 27 – Diagramma tempo-temperatura rappresentativo dell'infragilimento a 475°C (decomposizione spinodale della ferrite) per differenti leghe Fe-Cr [tratto da Grobner 1973].

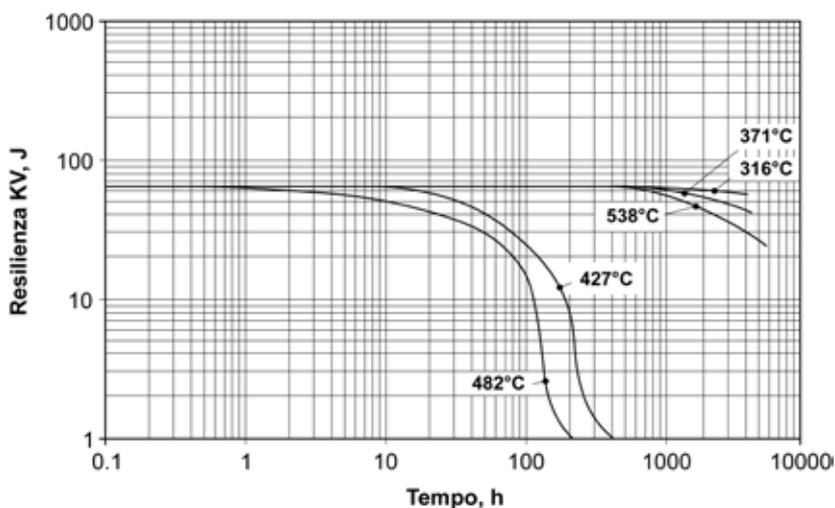


Figura 28 – Andamento della resilienza in acciai inossidabili ferritici al 18% di cromo invecchiati a 316°C, 371°C, 427°C, 482°C e 538°C per tempi via via crescenti [tratto da Grobner 1973].



7.2 Trattamenti termici

L'unico trattamento termico possibile per la famiglia degli acciai inossidabili ferritici è la ricottura completa o ricottura propriamente detta: la sua funzione sarà quella di ottimizzare la resistenza alla corrosione dell'acciaio, favorendo un'uniforme diffusione del cromo nella struttura cristallina del semilavorato²⁰.

La ricottura degli acciai inossidabili ferritici viene eseguita a differenti temperature in relazione alla composizione chimica dell'acciaio trattato. Grande cura deve essere posta nella scelta della temperatura e del tempo di mantenimento poiché questa famiglia di materiali è molto sensibile al fenomeno di ingrossamento del grano cristallino. In tabella 7 è indicata la modalità di trattamento termico da adottare per le più comuni tipologie di acciaio inossidabile ferritico.

Il raffreddamento dopo ricottura viene sempre eseguito in aria per i semilavorati piani di spessore sottile o per i semilavorati lunghi di piccolo diametro; in acqua per i componenti di sezione maggiore; il raffreddamento in acqua è invece sempre obbligatorio per le composizioni più ricche in cromo, onde evitare il fenomeno dell'infragilimento a 475°C.

La ricottura degli acciai inossidabili ferritici ha anche un'altra importante caratteristica. Qualora il materiale da trattare fosse allo stato incrudito, il processo termico avrebbe anche la funzione di ricristallizzare la microstruttura, ossia di riformare nuove grani cristallini a partire dai grani originari che si sono allungati nel senso della deformazione plastica a freddo; generalmente i nuovi grani formati sono più fini rispetto ai grani originari del semilavorato deformato a caldo. Per quanto descritto si è soliti parlare di ricottura di ricristallizzazione (figura 29).

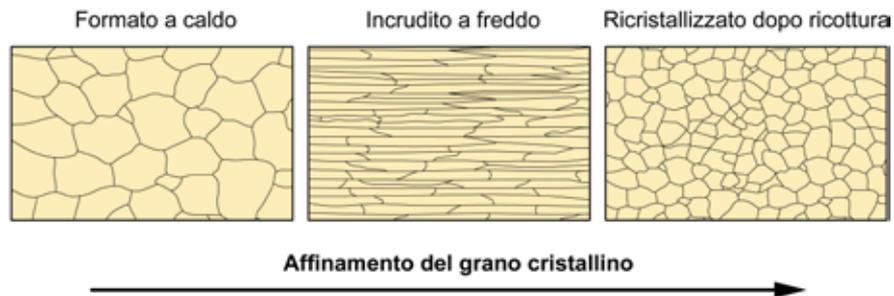


Figura 29 – Effetto della ricottura di ricristallizzazione sugli acciai inossidabili ferritici.

Da ultimo si segnala che i semilavorati da sottoporre a trattamento termico devono essere accuratamente puliti da olii, grassi o residui carboniosi: in caso contrario si potrebbero verificare fenomeni di carburazione superficiale, assai comuni in un acciaio molto povero in carbonio.

²⁰ Le temperature di ricottura degli acciai inossidabili ferritici non sono tali da permettere la solubilizzazione dei carburi di cromo eventualmente presenti. La ricottura è comunque eseguita poiché favorisce, attraverso meccanismi di diffusione, la ridistribuzione del cromo nella matrice metallica dell'acciaio: pertanto, anche in prossimità dei carburi, il tenore di cromo risulterà ripristinato a livelli superiori alla soglia di passivazione, evitando i caratteristici problemi di corrosione intergranulare.



Designazione EN	Ricottura	Raffreddamento in	Corrispondenza approssimata AISI
X2CrTi12 (1.4512)	770°C-850°C	aria o acqua	AISI 409
X6Cr17 (1.4016)	770°C-850°C	aria o acqua	AISI 430
X6CrMoS17 (1.4105)	770°C-850°C	aria o acqua	AISI 430F
X3CrTi17 (1.4510)	770°C-850°C	aria o acqua	AISI 439 (430Ti*)
X6CrMo17-1 (1.4113)	770°C-850°C	aria o acqua	AISI 434
X2CrMoTi17-1 (1.4513)	800°C-880°C	aria o acqua	AISI 436
X2CrMoTi18-2 (1.4521)	800°C-880°C	aria o acqua	AISI 444
X2CrTiNb18 (1.4509)	850°C-930°C	aria o acqua	441*
X10CrAlSi25 (1.4762)	800°C-880°C	aria o acqua	AISI 446
X2CrMoTi29-4 (1.4592)	900°C-1000°C	aria o acqua	29-4C*

* La denominazione indicata non si riferisce al manuale AISI; spesso ci si riferisce ad essa col termine "tipo" (ad es. tipo 441). La durata del trattamento è funzione della dimensione dei componenti e, normalmente, non deve eccedere 1 ora di mantenimento.

Tabella 7 – Caratteristiche indicative del trattamento termico di ricottura di alcuni tra i principali tipi di acciaio inossidabile ferritico

7.3 Proprietà fisiche e meccaniche

Le caratteristiche fisiche di alcuni tra i più comuni acciai inossidabili ferritici sono mostrate in tabella 8. Un'importante proprietà fisica degli acciai inossidabili ferritici, vista la loro particolare microstruttura, è legata al comportamento magneticamente dolce che si esalta dopo il trattamento termico di ricottura effettuato per periodi di mantenimento prolungati (vedi figura 30).

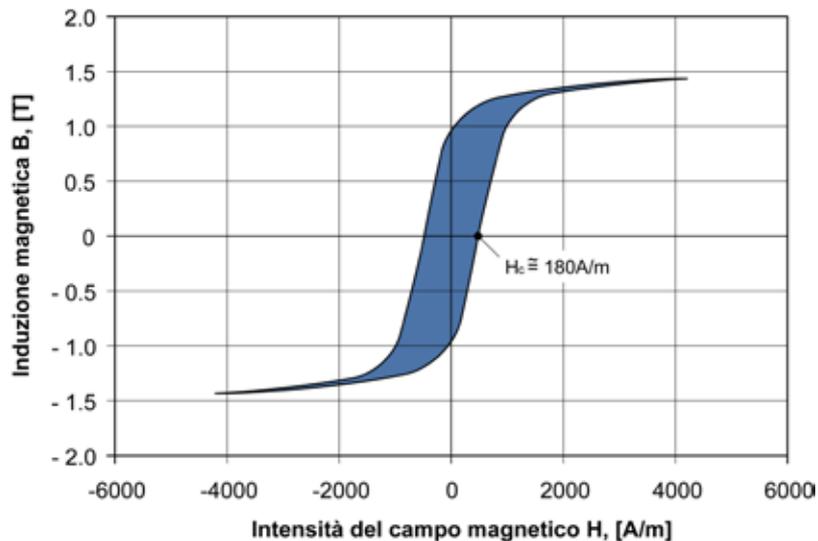


Figura 30 – Curva di isteresi fino a 4200 A/m di un acciaio inossidabile ferritico tipo X6Cr17 (simile all’AISI 430) dopo ricottura completa [tratto da Oxley et al. 2009]

Le caratteristiche resistenziali degli acciai inossidabili ferritici non sono particolarmente rilevanti: tali acciai sono infatti costituiti da grani omogenei di ferrite e vengono posti in esercizio allo stato ricotto. Il valore del carico unitario di rottura R_m oscilla tra i 450 MPa e i 600 MPa, in funzione della composizione chimica, con una durezza dell’ordine di 150-220 HB.

In tabella 9 sono indicate le caratteristiche meccaniche tipiche per alcune tipologie di acciaio inossidabile ferritico.

Come già segnalato gli acciai inossidabili ferritici non possono essere induriti mediante trattamento termico di tempra: l’unico modo per incrementare la loro resistenza meccanica è attraverso processi di deformazione plastica a freddo, come la trafilatura o la laminazione a freddo, che provocano l’incrudimento dell’acciaio: in tal caso il valore del carico unitario di rottura può arrivare fino a 900-1000 MPa (figura 31).

La resilienza degli acciai inossidabili ferritici è assai variabile e non è agevole poter dare un dato di riferimento: in generale si può affermare che la temperatura di transizione aumenti (e quindi il comportamento peggiori) all’aumentare del tenore di cromo in lega (si veda al proposito la figura 32).





Designazione EN	Massa volumica [kg/dm ³]	Calore specifico a 20°C [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	Resistività elettrica a 20°C [W·mm ² ·m ⁻¹]	Conduktività termica [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Dilatazione termica lineare [10 ⁻⁶ ·K ⁻¹]		Modulo elastico [GPa]		Corrispondenza approssimata AISI
					da 20°C a 100°C	da 20°C a 200°C	a 20°C	a 200°C	
X2CrTi12 (1.4512)	7,7	460	0,60	25	10,5	11,0	220	210	AISI 409
X6Cr17 (1.4016)	7,7	460	0,60	25	10,0	10,0	220	210	AISI 430
X6CrMoS17 (1.4105)	7,7	460	0,70	25	10,0	10,5	220	210	AISI 430F
X3CrTi17 (1.4510)	7,7	460	0,60	25	10,0	10,0	220	210	AISI 439 (430Ti*)
X6CrMo17-1 (1.4113)	7,7	460	0,70	25	10,0	10,5	220	210	AISI 434
X2CrMoTi17-1 (1.4513)	7,7	460	0,70	25	10,0	10,5	220	210	AISI 436
X2CrMoTi18-2 (1.4521)	7,7	430	0,80	23	10,4	10,8	220	210	AISI 444
X2CrTiNb18 (1.4509)	7,7	460	0,60	26	10,0	10,0	220	210	441*
X10CrAlSi25 (1.4762)	7,7	500	1,10	17	---	10,5	220	210	AISI 446
X2CrMoTi29-4 (1.4592)	7,7	440	0,67	17	11,5	---	220	210	29-4C*

* La denominazione indicata non si riferisce al manuale AISI; spesso ci si riferisce ad essa col termine "tipo" (ad es. tipo 441).

Tabella 8 – Caratteristiche fisiche indicative di alcuni tra i principali tipi di acciaio inossidabile ferritico [tratto da EN 10088].

Designazione EN	Stato metallurgico	R _{p0.2} [MPa]	R _m [MPa]	A [%]	Durezza	Corrispondenza approssimata AISI
X2CrTi12 (1.4512)	A	250-350	400-500	27-32	140-180 HB	AISI 409
X6Cr17 (1.4016)	A	300-400	450-550	25-30	150-200 HB	AISI 430
	A + CD**	550-850	650-950	5-18	---	
X6CrMoS17 (1.4105)	A	250-350	450-550	20-25	150-200 HB	AISI 430F
	A + CD**	400-700	600-850	5-15	---	
X3CrTi17 (1.4510)	A	250-350	450-550	25-30	150-200 HB	AISI 439 (430Ti*)
	A + CD**	500-800	600-900	5-20	---	
X6CrMo17-1 (1.4113)	A	300-400	480-580	22-28	150-200 HB	AISI 434
X2CrMoTi17-1 (1.4513)	A	250-350	420-520	25-30	140-180 HB	AISI 436
X2CrMoTi18-2 (1.4521)	A	350-450	480-580	25-30	160-220 HB	AISI 444
X2CrTiNb18 (1.4509)	A	250-350	450-550	20-25	150-200 HB	441*
X10CrAlSi25 (1.4762)	A	350-450	550-650	12-18	170-230 HB	AISI 446
X2CrMoTi29-4 (1.4592)	A	450-550	560-660	22-27	150-200 HB	29-4C*

* La denominazione indicata non si riferisce al manuale AISI; spesso ci si riferisce ad essa col termine "tipo" (ad es. tipo 441).

A: ricotto (Annealed)

A + CD: ricotto (Annealed) e trafilato (Cold Drawn)

** I valori delle caratteristiche meccaniche nella condizione A + CD sono assai variabili poiché dipendono molto dalle condizioni di incrudimento

Tabella 9 – Caratteristiche meccaniche indicative di alcuni tra i principali tipi di acciaio inossidabile ferritico.



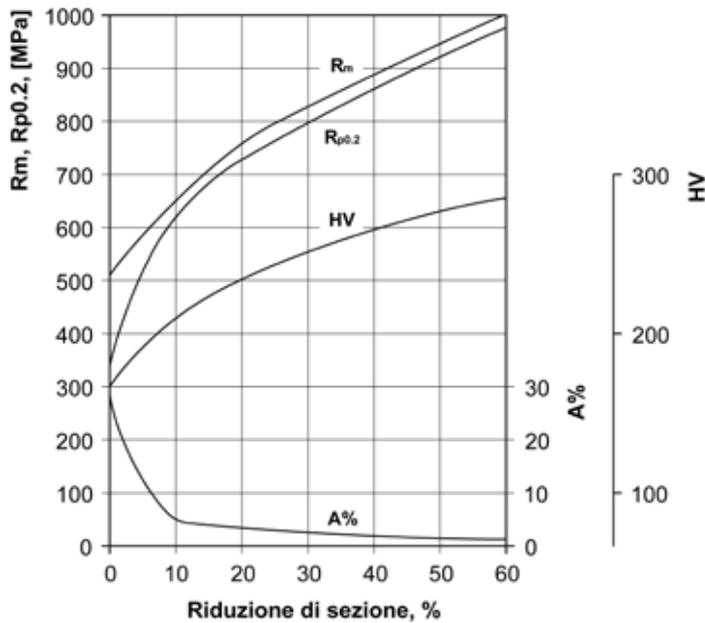


Figura 31 – Effetto dell'incrudimento sulle caratteristiche meccaniche di un acciaio inossidabile ferritico tipo X6Cr17 (simile all'AISI 430) [tratto da Lacombe et al. 1993].

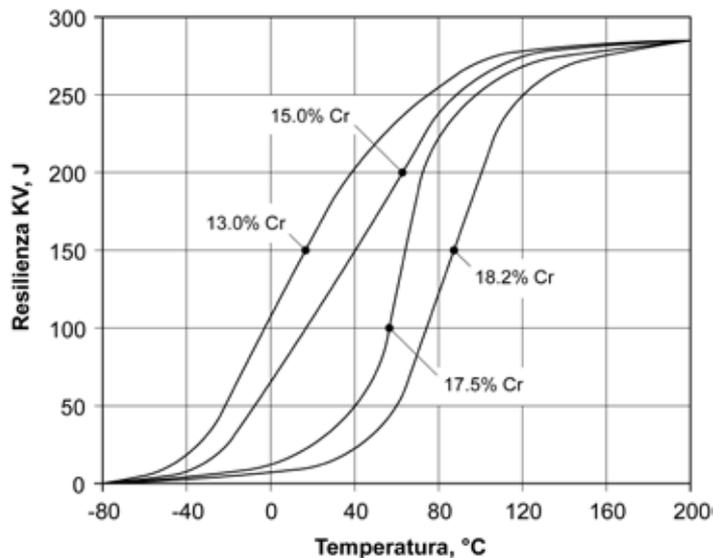


Figura 32 – Effetto del tenore di cromo sulle curve di transizione di leghe ferro-cromo (il tenore di carbonio è all'incirca 0,01%) [tratto da Sedriks 1996].



In aggiunta al tenore di cromo, la resistenza alla frattura fragile dipende anche dall'effetto combinato di altri parametri metallurgici. La temperatura di transizione aumenta al crescere del contenuto di elementi interstiziali (carbonio e azoto) e diminuisce per effetto di una riduzione della dimensione media del grano cristallino; lo spessore dei semilavorati ha inoltre un curioso effetto sulla frattura fragile degli acciai inossidabili ferritici (vedi figura 33).

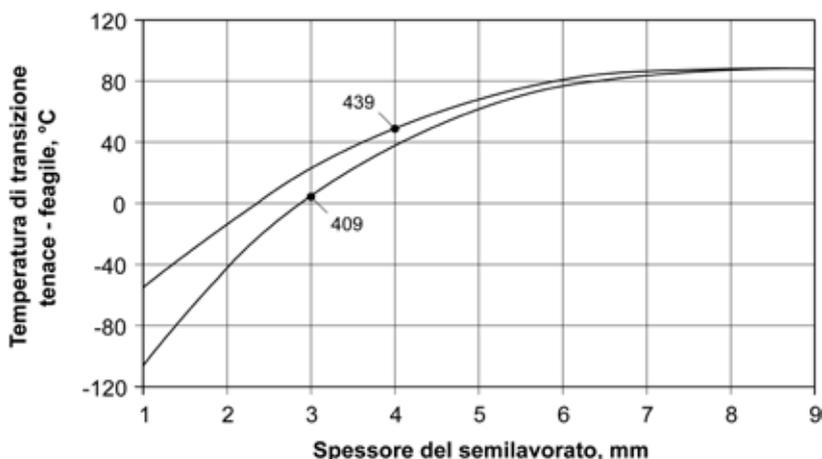


Figura 33 – Effetto dello spessore del semilavorato sulla temperatura di transizione di due acciai inossidabili ferritici [tratto da Sedriks 1996].

7.4 Tipi ed applicazioni

I semilavorati in acciaio inossidabile ferritico sono presenti sul mercato allo stato ricotto, prevalentemente in forma di lamiere, nastri o fogli; una percentuale più contenuta è invece sotto forma di prodotti lunghi, quali barre e vergelle.

Gli acciai inossidabili ferritici più comunemente utilizzati in ambito industriale sono l'X6Cr17 (simile all'AISI 430) e l'X2CrTi12 (simile all'AISI 409).

L'acciaio X6Cr17 è il tradizionale acciaio inossidabile ferritico, facilmente deformabile plasticamente a freddo e lavorabile alle macchine utensili.

L'X6Cr17 è prodotto per lo più in lamiera o nastri da imbutire o stampare, in tubi o barre trafilate; ha una buona resistenza alla corrosione, sicuramente superiore ai tipi martensitici, specialmente in presenza di acido nitrico (fino al 90% in soluzioni acquose a freddo, fino al 10% a caldo).

Per quanto sopra osservato l'acciaio X6Cr17 (simile all'AISI 430) viene impiegato per parti di macchina nell'industria di produzione e trasformazione dell'acido nitrico (serbatoi, condensatori, tubazioni, serpentine, ecc.); è molto usato per impianti di *cracking* e *reforming* nel settore petrolifero, per la produzione di posateria a basso costo, per gli elettrodomestici, per elementi decorativi e complementi d'arredo per interni, per ricoperture di banchi e tavoli da bar, per cappe da cucina. Si segnalano alcune applicazioni anche nel



settore lattiero-caseario e per la realizzazione di carrozzerie di autobus e treni. L'acciaio inossidabile ferritico X6Cr17 è anche usato nei componenti che operano in temperatura fino a 750°-800°C a motivo della sua ottima resistenza all'ossidazione a caldo.

Il tipo X6CrMoS17 (simile all'AISI 430F) è l'omologo dell'X6Cr17 ma con lavorabilità migliorata a causa della presenza di zolfo in lega: con tale acciaio si producono barre e vergelle (semilavorati lunghi) che vengono impiegate principalmente nel settore delle elettrovalvole²¹ e della minuteria metallica realizzata per asportazione di truciolo.

L'altro acciaio inossidabile ferritico di largo impiego è l'X2CrTi12 (simile all'AISI 409). Esso presenta minore resistenza alla corrosione rispetto al tradizionale X6Cr17 ma maggiore deformabilità plastica a freddo e migliore saldabilità a motivo della stabilizzazione con titanio; inoltre il suo costo è inferiore rispetto all'X6Cr17. L'X2CrTi12 viene largamente usato nel settore *automotive* per la realizzazione di marmitte, convertitori catalitici e tubi di scarico di autovetture, camion e ciclomotori: tale ambito d'impiego rappresenta certamente il singolo mercato più importante per uno specifico tipo di acciaio inossidabile.

Per risolvere le problematiche legate alla saldabilità del materiale, pur conservando la resistenza alla corrosione tipica del tradizionale X6Cr17, è stato messo a punto l'X3CrTi17 stabilizzato al titanio e con un tenore di carbonio dell'ordine di 0,025% (simile all'AISI 439, anche chiamato 430Ti).

L'X3CrTi17 è usato in applicazioni analoghe a quelle dell'acciaio inossidabile ferritico X6Cr17, almeno in tutti quei casi in cui sia necessario ricorrere ad operazioni di saldatura per la realizzazione del componente. Una tipica applicazione è legata al settore degli elettrodomestici: i cestelli delle lavatrici vengono prodotti a partire da un nastro in X6Cr17 se realizzati mediante giunzione meccanica (graffatura), da un nastro in X3CrTi17 se realizzati mediante saldatura.

Con lo scopo di aumentare la resistenza alla corrosione del tradizionale X6Cr17, soprattutto in relazione ai fenomeni di degrado localizzato, sono state messe a punto anche altre composizioni chimiche.

In ambienti aggressivi si può impiegare l'acciaio inossidabile ferritico X6CrMo17-1 (simile all'AISI 434) in cui la presenza di molibdeno migliora la resistenza alla corrosione per *Pitting*, o i tipi stabilizzati X2CrTiNb18 al 18% di cromo (denominato anche 441) e X2CrMoTi17-1 (simile all'AISI 436) con aggiunte di molibdeno. Oltre che per i sistemi di scarico nel settore *automotive*, questi acciai vengono impiegati per pannellature interne degli edifici, per scale mobili, ascensori e nastri trasportatori, per tubi di convogliamento dell'acqua potabile o come supporto per la realizzazione di celle fotovoltaiche.

Gli acciai inossidabili ferritici X2CrMoTi18-2 (simile all'AISI 444) e X2CrMoTi29-4 (anche chiamato 29-4C) rappresentano un ulteriore miglioramento in termini di resistenza alla corrosione a motivo dell'aggiunta di cromo e molibdeno in tenori elevati: sono molto usati per scambiatori di calore, caldaie e serbatoi di stoccaggio dell'acqua calda.

²¹ Nel settore delle elettrovalvole sono stati messi a punto acciai inossidabili ferritici con specifiche composizioni chimiche contenenti silicio attorno all'1-1,5%: ciò ha lo specifico scopo di rendere il materiale magneticamente dolce per poter meglio assolvere alla funzione di nucleo mobile dell'elettrovalvola stessa.



Da ultimo l'acciaio inossidabile ferritico X10CrAlSi25, ad alto tenore di cromo e con aggiunte di silicio e alluminio (più propriamente un acciaio resistente al calore, come lo definisce la norma EN 10088): tale lega è molto resistente a caldo fino a 1100°C, sia in ambienti ossidanti che riducenti ed ha inoltre un ottimo comportamento in ambienti solforosi (prodotti di combustione della nafta, ossidi di zolfo, ecc.) nei quali gli acciai inossidabili austenitici si comporterebbero male a causa dell'elevato tenore di nichel. Viene largamente usato per la realizzazione di forni e caldaie, soole e muffole, cassette di ricottura, crogioli, parti di impianti di idrogenazione (anche con oli ricchi di zolfo), tubi di surriscaldatori.



8. ACCIAI INOSSIDABILI AUSTENITICI

8.1 Metallurgia

Se il tenore di cromo viene aumentato almeno fino al 17-18% e, contemporaneamente, si aggiunge un tenore di nichel compreso tra l'8% e il 9%, l'acciaio avrà struttura austenitica a temperatura ambiente: ciò è dovuto al significativo effetto austenitizzante del nichel che prevale su quello ferritizzante del cromo (si vedano nuovamente, a questo proposito, il diagramma di figura 8 e il diagramma di Schaeffler di figura 11). Il tenore di carbonio, come al solito, è fissato a valori molto bassi ($C = 0,02-0,06\%$) per limitare il più possibile la formazione di carburi di cromo.

La combinazione di cromo e nichel nella lega permette di realizzare un acciaio inossidabile a struttura austenitica, cioè con reticolo cubico a facce centrate, molto resistente alla corrosione atmosferica ed alle soluzioni acquose²²: si tratta dell'X5CrNi18-10 (simile all'AISI 304) capostipite della famiglia degli acciai inossidabili austenitici al cromo-nichel.

Un ulteriore incremento di resistenza alla corrosione può essere ottenuto sia aumentando il tenore di nichel fino a valori dell'11-12% sia aggiungendo molibdeno in tenori dell'ordine del 2-3%: si ha così un altro acciaio inossidabile di largo impiego, l'X5CrNiMo17-12-2 (simile all'AISI 316), capostipite della seconda famiglia di acciai inossidabili austenitici, quelli al cromo-nichel-molibdeno²³.

Esiste poi anche una terza possibilità per ottenere un acciaio inossidabile austenitico: ciò avviene sostituendo parte del nichel con il manganese²⁴, elemento che sarebbe altrimenti presente in lega solo in funzione di disossidante. Questa soluzione è stata messa a punto a metà degli anni '50 del secolo scorso, con lo scopo di limitare i costi di produzione; il capostipite della famiglia di acciai inossidabili austenitici al cromo-manganese-nichel è l'X12CrMnNi17-7-5 (simile all'AISI 201). Gli acciai inossidabili austenitici al manganese – che qui non verranno presi in considerazione – non hanno però avuto la diffusione sperata, forse a causa della loro limitata resistenza alla corrosione a contatto con soluzioni acquose, più simile a quella di un acciaio inossidabile ferritico tipo X6Cr17 che di un acciaio inossidabile austenitico al cromo-nichel tipo X5CrNi18-10.

In figura 34 è schematizzata la logica "metallurgica" che ha portato alla creazione delle due principali tipologie di acciai inossidabili austenitici presenti sul mercato: da un lato gli acciai inossidabili al cromo-nichel come

²² In aria e in soluzioni acquose anche parzialmente contaminate da cloruri (generalmente fino a 500ppm di ioni Cl⁻) la resistenza alla corrosione dell'acciaio inossidabile austenitico X5CrNi18-10 è superiore rispetto a quella dei tipi martensitici e ferritici quali l'X30Cr13 e l'X6Cr17.

²³ L'acciaio inossidabile austenitico al cromo-nichel-molibdeno X5CrNiMo17-12-2 (simile all'AISI 316) è adeguato per le applicazioni a contatto con acqua di mare ($Cl^- \cong 20.000ppm = 2\%$) o con soluzioni acquose fortemente contaminate da cloruri.

²⁴ L'alternativa del manganese rispetto al nichel è basata sull'effetto austenitizzante che entrambi gli elementi evidenziano se aggiunti alle leghe Fe-C: poiché l'effetto austenitizzante del manganese è pari alla metà di quello del nichel, è necessario aggiungere all'incirca il 2% di Mn per ogni 1% di Ni sostituito.



l'X5CrNi18-10 e dall'altro gli acciai inossidabili al cromo-nichel-molibdeno come l'X5CrNiMo17-12-2 con i loro rispettivi derivati. Un'ulteriore distinzione convenzionale suddivide queste due famiglie in "austenitici" se il tenore di nichel è minore o uguale al 20% e "super-austenitici" se maggiore.

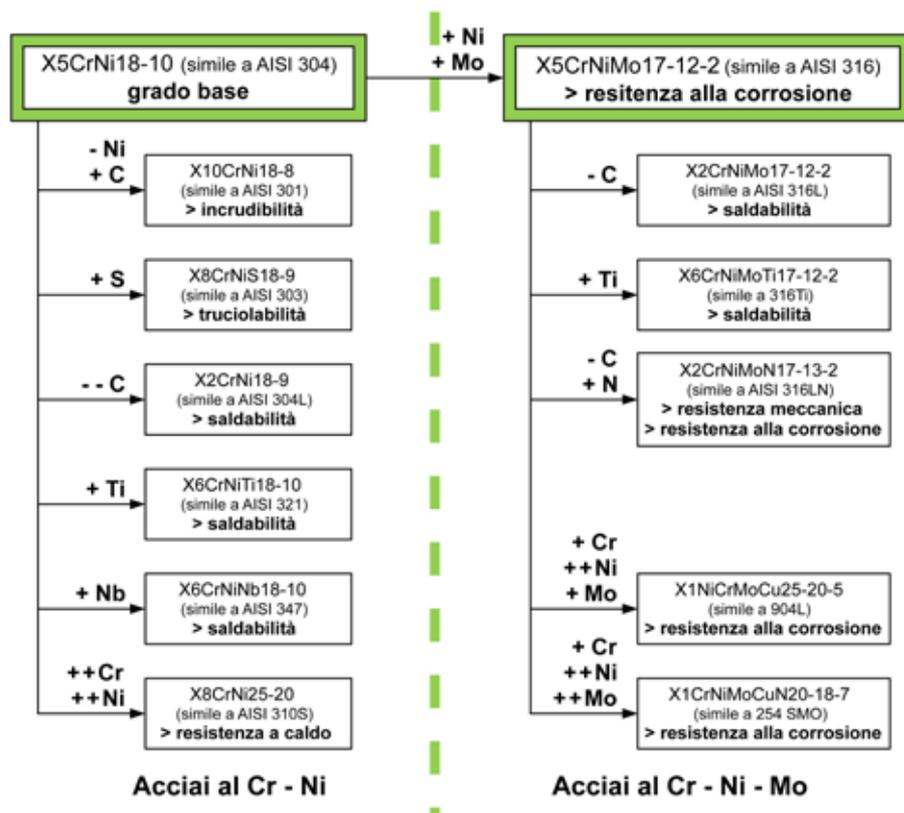


Figura 34 – Schema dei principali tipi di acciai inossidabili austenitici al cromo-nichel e al cromo-nichel-molibdeno a partire dall'X5CrNi18-10 e dall'X5CrNiMo17-12-2.

In tabella 10 è mostrata la composizione chimica di alcuni tra gli acciai inossidabili austenitici più utilizzati e la relativa designazione secondo la norma EN 10088.

Come nei casi precedenti, anche per gli acciai inossidabili austenitici è opportuno riferirsi ai diagrammi di stato per comprendere appieno le problematiche metallurgiche di queste leghe: in figura 35 è rappresentato il diagramma di stato semplificato di un acciaio al 18% di cromo e 8% di nichel al variare del tenore di carbonio. Un aspetto sicuramente rilevante del diagramma di stato degli acciai inossidabili austenitici è l'assenza dei punti critici, ossia la mancanza della trasformazione $\gamma \rightarrow \alpha$, come si nota chiaramente seguendo sulla figura 35 il raffreddamento di una lega con bassissimo tenore di carbonio ($C = 0,05\%$). Dopo un'iniziale solidificazione ad altissima temperatura in fase $\gamma + \delta$, l'acciaio inossidabile diviene completamente austenitico (fase γ) e rimane tale fino a temperatura ambiente, a meno della formazione degli immancabili carburi di cromo.





Designazione simbolica EN	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	Altri	Corrispondenza approssimata AISI
X10CrNi18-8 (1.4310)	0,05-0,15	≤2,00	≤2,00	≤0,045	≤0,015	16,0-19,0	6,0-9,5	≤0,80	1	AISI 301
X8CrNiS18-9 (1.4305)	≤0,10	≤1,00	≤2,00	≤0,045	0,15-0,35	17,0-19,0	8,0-10,0	---	1, 2	AISI 303
X5CrNi18-10 (1.4301)	≤0,07	≤1,00	≤2,00	≤0,045	≤0,015	17,5-19,5	8,0-10,5	---	1	AISI 304
X2CrNi18-9 (1.4307)	≤0,03	≤1,00	≤2,00	≤0,045	≤0,015	17,5-19,5	8,0-10,5	---	1	AISI 304L
X6CrNiTi18-10 (1.4541)	≤0,08	≤1,00	≤2,00	≤0,045	≤0,015	17,0-19,0	9,0-12,0	---	3	AISI 321
X6CrNiNb18-10 (1.4550)	≤0,08	≤1,00	≤2,00	≤0,045	≤0,015	17,0-19,0	9,0-12,0	---	4	AISI 347
X8CrNi25-21 (1.4845)	≤0,10	≤1,50	≤2,00	≤0,045	≤0,015	24,0-26,0	19,0-22,0	---	1	AISI 310S
X5CrNiMo17-12-2 (1.4401)	≤0,07	≤1,00	≤2,00	≤0,045	≤0,015	16,5-18,5	10,0-13,0	2,00-2,50	1	AISI 316
X2CrNiMo17-12-2 (1.4404)	≤0,03	≤1,00	≤2,00	≤0,045	≤0,015	16,5-18,5	10,0-13,0	2,00-2,50	1	AISI 316L
X2CrNiMoN17-13-3 (1.4429)	≤0,03	≤1,00	≤2,00	≤0,045	≤0,015	16,5-18,5	11,0-14,0	2,50-3,00	5	AISI 316LN
X6CrNiMoTi17-12-2 (1.4571)	≤0,08	≤1,00	≤2,00	≤0,045	≤0,015	16,5-18,5	10,5-13,5	2,00-2,50	3	316Ti*
X1NiCrMoCu25-20-5 (1.4539)	≤0,02	≤0,70	≤2,00	≤0,030	≤0,010	19,0-21,0	24,0-26,0	4,00-5,00	6	904 L *
X1CrNiMoCuN20-18-7 (1.4547)	≤0,02	≤0,70	≤1,00	≤0,030	≤0,010	19,5-20,5	17,5-18,5	6,00-7,00	7	254 SMO*

* La denominazione indicata non si riferisce al manuale AISI; spesso ci si riferisce ad essa col termine "tipo" (ad es. tipo 904 L).

1: %N ≤ 0,11

2: %Cu ≤ 1,0

3: %Ti = 5 x C - 0,70

4: %Nb = 10 x C - 1,00

5: %N = 0,12 - 0,22

6: %N ≤ 0,15; %Cu = 1,20 - 2,00

7: %N = 0,18 - 0,25; %Cu = 0,50 - 1,00

Tabella 10 – Composizione chimica di alcuni tra i principali tipi di acciaio inossidabile austenitico [tratto da EN 10088].

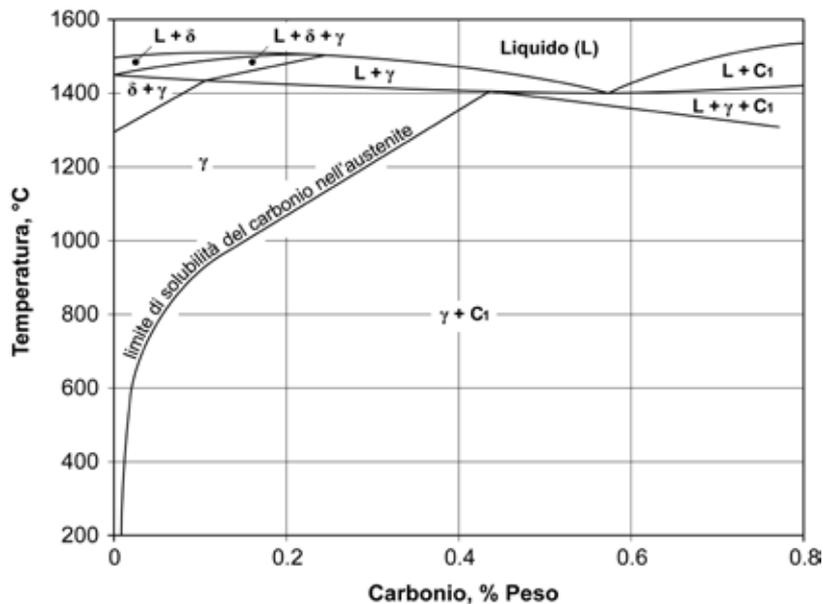


Figura 35 – Sezione binaria Fe-C del diagramma quaternario Fe-Cr-Ni-C con Cr = 18% e Ni = 8%; C₁ carburi tipo (Cr,Fe)₂₃C₆ [tratto da Sedriks 1996].

La presenza di vari elementi austenitizzanti, quali carbonio, azoto, nichel e manganese, ha spostato la temperatura di trasformazione dell'austenite in martensite ben al di sotto della temperatura ambiente: ciò spiega l'impossibilità pratica di eseguire trattamenti termici, come la tempra, che possano incrementare la resistenza meccanica degli acciai inossidabili austenitici.

Un altro aspetto molto importante, sempre rilevabile dal diagramma di figura 35, è la limitatissima solubilità del carbonio nella fase γ ²⁵: anche se il tenore di carbonio è mantenuto a valori molto bassi (tipicamente in questi acciai si ha %C = 0,04-0,06%), è praticamente certa l'esistenza di carburi di cromo di tipo (Cr,Fe)₂₃C₆ a temperatura ambiente.

Il fenomeno della precipitazione dei carburi, denominato anche "sensibilizzazione", è piuttosto complesso. Esso avviene a temperature comprese tra i 450°C e i 900°C per tempi di esposizione assai variabili: le condizioni più critiche si hanno attorno ai 700°C per tempi dell'ordine di pochi minuti.

La sensibilizzazione degli acciai inossidabili austenitici comporta un impoverimento di cromo nelle immediate vicinanze delle zone ove i carburi si formano, ossia ai bordi dei grani cristallini: come conseguenza i bordi grano, avendo un tenore di cromo inferiore al limite di passivazione dell'acciaio, daranno origine ad un peggioramento locale della resistenza alla corrosione con fenomeni di corrosione intercristallina, anche in ambienti blandamente aggressivi (a questo proposito si osservi nuovamente la figura 10, caso "b").

²⁵ Per un acciaio inossidabile austenitico con 18% di cromo e 8% di nichel, il limite di solubilità del carbonio nella fase γ è pari a circa 0,03%.



Per ovviare al problema dei carburi di cromo sono state messe a punto differenti modalità di intervento: esse sono basate sia sulla modificazione della composizione chimica dell'acciaio che su opportuni trattamenti termici.

Un primo modo per risolvere il problema è quello di aggiungere titanio o niobio in sede di fabbricazione: il titanio e il niobio hanno infatti la funzione di formare carburi molto stabili, impedendo così che il carbonio si impegni con il cromo per formare carburi di cromo (il meccanismo di intervento del titanio e del niobio è analogo a quanto descritto per gli acciai inossidabili ferritici).

Sulla scia di queste considerazioni di natura metallurgica sono stati messi a punto acciai inossidabili austenitici "stabilizzati" come l'X6CrNiTi18-10 (simile all'AISI 321), come l'X6CrNiNb18-10 (simile all'AISI 347) o come l'X6CrNiMoTi17-12-2 (simile al tipo 316Ti): si tratta, in sintesi, di acciai analoghi all'X5CrNi18-10 e all'X5CrNiMo17-12-2 ma con aggiunte di titanio o di niobio²⁶. Come meglio si dirà nel paragrafo relativo ai trattamenti termici, i semilavorati di questi acciai, prima di poter essere utilizzati in esercizio, dovranno essere sottoposti ad un trattamento termico di "stabilizzazione", atto a formare i carburi degli elementi stabilizzanti (Ti e Nb).

Una seconda modalità di intervento, per molti versi più semplice della precedente, consiste nel ridurre il più possibile il tenore di carbonio dell'acciaio fino a valori dell'ordine di 0,02-0,03%. Come conseguenza il tempo necessario per l'incubazione e la formazione dei carburi di cromo passa da pochi minuti ad alcune ore, rendendo trascurabile all'atto pratico la sensibilizzazione del materiale.

Per avere un'idea più chiara di quanto descritto, è utile l'esame del diagramma isotermico mostrato in figura 36, specificamente messo a punto per stabilire, nota la temperatura, il tempo minimo di precipitazione dei carburi: le curve indicate su tale diagramma sono anche chiamate "curve a C".

Come osservabile il tempo necessario a sensibilizzare l'acciaio è funzione, oltre che della temperatura di esposizione, anche del tenore di carbonio in lega: se, ad esempio, il carbonio è pari a 0,08%, il tempo di precipitazione dei carburi è dell'ordine di un minuto mentre diviene di alcune decine di ore se il carbonio si riduce a 0,02%.

Sulla scorta delle "curve a C" sono stati sviluppati acciai inossidabili austenitici a basso tenore di carbonio come l'X2CrNi18-9 (simile all'AISI 304L²⁷) o come l'X2CrNiMo17-12-2 (simile all'AISI 316L) che risultano quasi completamente insensibili al fenomeno della precipitazione dei carburi di cromo.

²⁶ L'analogia tra acciai inossidabili tradizionali e acciai inossidabili stabilizzati non è solo formale: anche dal punto di vista della resistenza alla corrosione non si osservano sostanziali differenze. L'unica differenza è la presenza degli elementi stabilizzanti che inibisce, di fatto, la formazione dei carburi di cromo.

²⁷ La serie "L" della normativa AISI indica la presenza di un tenore di carbonio assai ridotto, tipicamente $C = 0,03\%$. "L" sta per low carbon, cioè "basso carbonio".



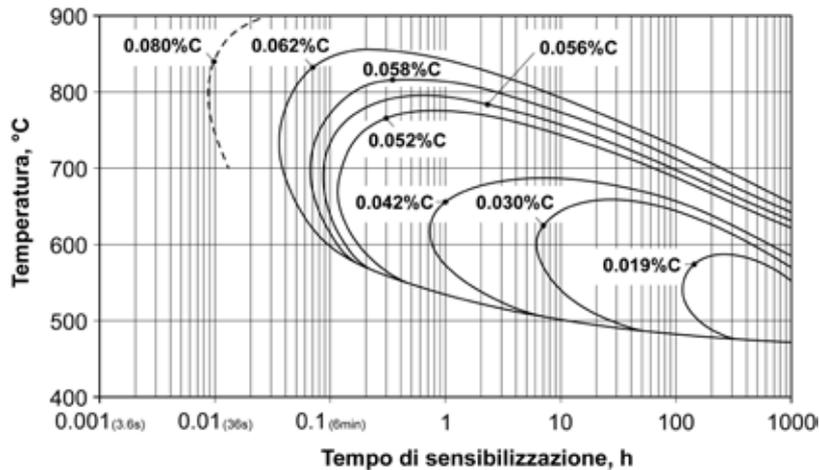


Figura 36 – Diagramma tempo-temperatura (“curve a C”) che mostra la precipitazione dei carburi di cromo al variare del tenore di carbonio per un acciaio inossidabile austenitico al 18% di cromo e 9% di nichel [tratto da McGuire 2008].

Infine si deve comunque ricordare che vi è sempre un’ulteriore possibilità per evitare l’insorgenza di fenomeni di corrosione intergranulare. Se esistono fondati motivi di ritenere che sia avvenuta la precipitazione di carburi di cromo in una o più zone del componente, è sempre possibile effettuare un trattamento termico di solubilizzazione a 1040°-1050°C²⁸: in tal modo si riescono a “sciogliere”, ovvero solubilizzare, gli eventuali carburi presenti; ma di tutto ciò meglio si dirà nel prossimo paragrafo.

Sempre in riferimento agli acciai inossidabili austenitici esistono anche altre problematiche metallurgiche legate alla permanenza del materiale ad alte temperature.

Poiché in queste leghe il tenore di cromo o di cromo-molibdeno è rilevante, è necessario considerare la possibile formazione di fase σ , fase χ o fase di Laves: ciò avviene a causa di un mantenimento prolungato (per tempi maggiori di 100 ore) a temperature comprese tra i 550°C e i 900°C (vedi figura 37).

Si deve però osservare che il problema della precipitazione di fasi ricche in cromo o cromo-molibdeno passa spesso in secondo piano rispetto al fenomeno della precipitazione dei carburi di cromo che, come osservato precedentemente, si manifesta alle medesime temperature ma per tempi molto più brevi.

²⁸ La possibilità di eseguire la solubilizzazione è anche legata alle dimensioni del semilavorato o del componente da trattare. Pezzi piccoli saranno facilmente gestibili mentre nel caso di parti di impianto o grosse strutture saldate sarà quasi impossibile prevedere un trattamento termico finale a valle di tutte le lavorazioni. In questi casi è obbligatorio ricorrere alla serie stabilizzata o a quella a basso carbonio.

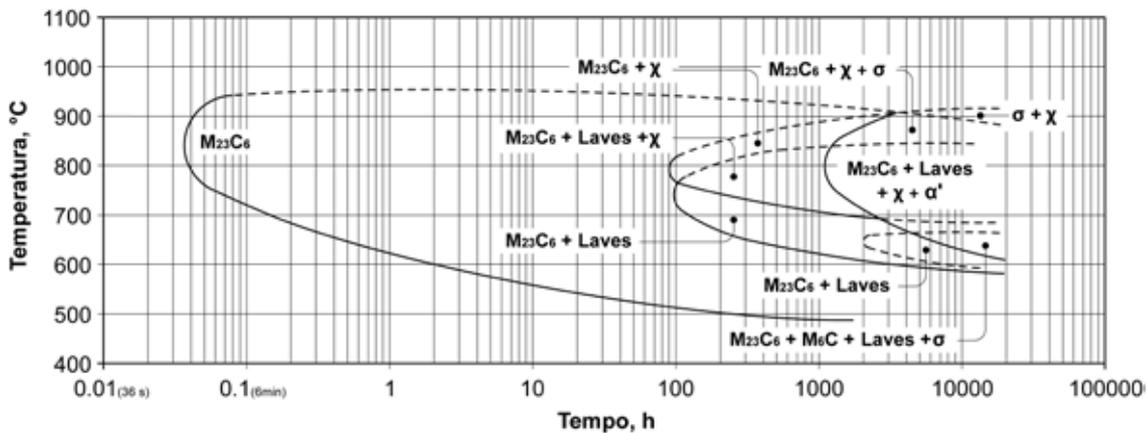


Figura 37 – Diagramma tempo-temperatura che mostra la precipitazione delle fasi σ , χ e di Laves e dei carburi di cromo in un acciaio inossidabile austenitico tipo X5CrNiMo17-12-2 [tratto da Khatak e Baldev 2002].

Negli acciai inossidabili austenitici vengono talvolta aggiunti anche altri elementi di lega, i più usati essendo lo zolfo, l'azoto e il rame.

Lo zolfo ha la funzione di miglioramento della truciolabilità del materiale per effetto della formazione di solfuri di ferro e solfuri di ferro-cromo (come avviene per gli acciai inossidabili martensitici e ferritici).

Considerazioni differenti meritano l'azoto e il rame. Mentre l'azoto è aggiunto a motivo della forte attitudine austenitizzante e per favorire contemporaneamente il miglioramento della resistenza alla corrosione e della resistenza meccanica, il rame è presente perché tende a migliorare la deformabilità plastica a freddo degli acciai inossidabili.

Da ultimo segnaliamo che se si osserva con attenzione il diagramma di Schaeffler²⁹ si nota come nei comuni acciai inossidabili austenitici (X5CrNi18-10 e X5CrNiMo17-12-2) la microstruttura a temperatura ambiente potrebbe anche mostrare una piccola percentuale di ferrite (di solito tra l'1% e il 5%): ciò si verifica se il materiale viene raffreddato velocemente a partire dalla temperatura di fusione, come avviene durante le operazioni di saldatura³⁰. Solo aumentando il tenore di nichel (dal 12% in su) e/o aggiungendo azoto (0,10-0,25%) è possibile ottenere una struttura completamente austenitica: ciò è necessario qualora l'applicazione finale lo richieda, come può essere il caso, ad esempio, di specifici ambienti corrosivi (soluzioni acide fortemente riducenti) o in applicazioni nucleari (circuiti di contenimento magnetico operanti a 0°-5°K) o per particolari problemi di lavorabilità a caldo.

²⁹ Qualcosa di analogo è osservabile anche sul diagramma di stato mostrato in figura 35 dove è evidente l'iniziale solidificazione con struttura bifasica $\gamma + \delta$ che può rimanere tale se la lega venisse raffreddata rapidamente fino a temperatura ambiente.

³⁰ La presenza di piccole percentuali di ferrite negli acciai inossidabili austenitici è, in alcuni casi, anche un fatto positivo: ciò è favorevole nei confronti della saldabilità del materiale poiché riduce l'insorgenza delle cricche a caldo nella zona fusa del cordone di saldatura e limita l'ingrossamento del grano cristallino durante i trattamenti termici.



8.2 Trattamenti termici

Gli acciai inossidabili austenitici, come osservato in precedenza, non possono essere induriti per trattamento termico poiché la loro microstruttura rimane, all'atto pratico, inalterata dalla temperatura di fusione fino a temperatura ambiente.

L'unico trattamento termico fattibile è la solubilizzazione, anche chiamata tempra negativa o tempra austenitica: tale trattamento è normalmente effettuato sia sui semilavorati che sui prodotti finiti in acciaio inossidabili austenitico a valle dei differenti processi di fabbricazione.

Il trattamento viene eseguito ad elevata temperatura (indicativamente tra i 1000°C e i 1100°C), per un tempo adeguato a garantire l'omogeneizzazione della composizione chimica dell'acciaio: durante il trattamento si ha anche l'eliminazione di eventuali eterogeneità microstrutturali e, soprattutto, la solubilizzazione dei carburi di cromo.

Si veda la tabella 11 per un'indicazione più precisa delle temperature di trattamento degli acciai inossidabili austenitici più usati.

Prima del trattamento termico i pezzi devono essere ripuliti da ogni residuo di precedenti lavorazioni (oli, grassi, ecc.); in molti casi la solubilizzazione viene eseguita in atmosfera controllata (azoto o azoto e idrogeno) in modo che l'acciaio possa mantenere il tipico colore grigio metallico brillante, evitando l'ossidazione all'aria o fenomeni indesiderati di carburazione.

Per assicurare la buona riuscita del trattamento di solubilizzazione, gli acciai inossidabili austenitici devono essere raffreddati velocemente in acqua, soprattutto se si tratta di componenti di grosso spessore. Il raffreddamento deve essere rapido per evitare che nel passaggio fra i 450°C e i 900°C si verifichi il deterioramento dell'omogeneità composizionale dell'austenite e la separazione di carburi a bordo grano, con impoverimento locale di cromo³¹. Nel caso di spessori sottili è anche possibile impiegare un flusso di azoto ad alta pressione, benché il raffreddamento in acqua resti comunque preferibile³².

Un trattamento particolare viene invece effettuato sugli acciai inossidabili austenitici stabilizzati. Per i tipi X6CrNiTi18-10, X6CrNiNb18-10, X6CrNiMoTi17-12-2 è infatti necessario eseguire sempre la stabilizzazione dopo aver effettuato la solubilizzazione.

Il trattamento di stabilizzazione consiste nel mantenere l'acciaio a temperature comprese tra gli 850°C e i 950°C per tempi che vanno da 1 a 4 ore in relazione alle dimensioni dei semilavorati. Durante il trattamento si ha la precipitazione di carburi di titanio o di niobio i quali, fissando il carbonio, impediscono che ne rimanga per formare i deleteri carburi di cromo; il successivo raffreddamento è eseguito in aria.

³¹ Si tenga presente che il raffreddamento in acqua non produce né alcuna trasformazione strutturale né alcun indurimento del materiale, non essendo gli acciai inossidabili austenitici caratterizzati dalla presenza di punti critici: non a caso questo trattamento viene anche chiamato tempra negativa poiché la durezza a fine processo è di solito minore di quella iniziale.

³² Anche se meno drastico dell'acqua, il raffreddamento in azoto (in coppia col trattamento in atmosfera controllata) ha l'indubbio vantaggio di non provocare l'ossidazione della superficie dei componenti che conservano un piacevole aspetto brillante: il trattamento è chiamato, secondo la letteratura anglosassone, *bright annealing*.





Designazione EN	Solubilizzazione	Raffreddamento	Stabilizzazione	Corrispondenza approssimata AISI
X10CrNi18-8 (1.4310) X8CrNiS18-9 (1.4305) X5CrNi18-10 (1.4301) X2CrNi18-9 (1.4307)	1010°-1120°C	acqua, aria	No	AISI 301 AISI 303 AISI 304 AISI 304L
X6CrNiTi18-10 (1.4541)	955°C-1065°C	acqua, aria	850°C-950°C	AISI 321
X6CrNiNb18-10 (1.4550)	980°C-1065°C			
X8CrNi25-21 (1.4845)		acqua	No	AISI 310S
X5CrNiMo17-12-2 (1.4401) X2CrNiMo17-12-2 (1.4404) X2CrNiMoN17-13-3 (1.4429)	1020°C-1120°C	acqua, aria	No	AISI 316 AISI 316L AISI 316LN
X6CrNiMoTi17-12-2 (1.4571)	1020°C-1120°C	acqua, aria	850°C-950°C	316Ti*
X1NiCrMoCu25-20-5 (1.4539)	1050°C-1150°C	acqua, aria	No	904 L*
X1CrNiMoCuN20-18-7 (1.4547)	1140°C-1200°C	acqua, aria	No	254 SMO*

* La denominazione indicata non si riferisce al manuale AISI; spesso ci si riferisce ad essa col termine "tipo" (ad es. tipo 904 L).

Tabella 11 – Caratteristiche indicative del trattamento termico di alcuni tra i principali tipi di acciaio inossidabile austenitico.

8.3 Proprietà fisiche e meccaniche

Le caratteristiche fisiche di alcuni tra i più comuni acciai inossidabili austenitici sono mostrate in tabella 12: si nota subito come tali caratteristiche siano peculiari e riconducibili alla loro composizione chimica ed al reticolo cubico a facce centrate dell'austenite, molto diverso da quello degli acciai inossidabili ferritici e martensitici. La dilatazione termica lineare degli acciai inossidabili austenitici, ad esempio, è maggiore del 50-60% rispetto a quella degli acciai inossidabili ferritici o martensitici così come la conducibilità termica che, al contrario, è inferiore del 40-50%. Queste particolari proprietà devono essere tenute in debita considerazione in ambito industriale: durante il riscaldamento e il raffreddamento in trattamento termico le variazioni dimensionali dei pezzi in acciaio inossidabile austenitico saranno molto maggiori rispetto a quanto avviene negli acciai comuni; al contrario per quanto riguarda lo scambio termico che sarà assai più limitato³³.

Sempre dal punto di vista delle caratteristiche fisiche si deve segnalare come gli acciai inossidabili austenitici abbiano comportamento amagnetico, caratteristica questa che li rende interessanti in talune applicazioni militari; si tenga presente infine che per effetto delle operazioni di deformazione plastica a freddo i semilavorati tendono a divenire leggermente ferromagnetici.

Le caratteristiche meccaniche degli acciai inossidabili austenitici sono piuttosto limitate, a causa dell'elevata deformabilità del reticolo dell'austenite. Allo stato solubilizzato questi acciai garantiscono un carico unitario di rottura R_m dell'ordine di 550-650 MPa ed un carico unitario di snervamento $R_{p0,2}$ dell'ordine di 220-280 MPa; per converso la microstruttura austenitica ha un'elevata duttilità, con valori dell'allungamento percentuale a rottura del 40-50% ed una durezza di 160-200 HB.

In tabella 13 sono riportate le proprietà resistenziali dei principali tipi di acciaio inossidabile austenitico. L'unico modo per incrementare la resistenza a trazione degli acciai inossidabili austenitici è attraverso l'incrudimento: mediante deformazione plastica a freddo (laminazione, trafilatura, ecc.) è possibile ottenere una resistenza unitaria a rottura R_m dell'ordine di 1500-1800 MPa ed allo snervamento $R_{p0,2}$ di 1300-1600 MPa, valori molto maggiori di quanto si otterrebbe con un comune acciaio a basso carbonio (vedi figura 38).

Questo notevole incremento delle caratteristiche tensili (R_m può arrivare a triplicare ed $R_{p0,2}$ crescere fino a sei volte rispetto allo stato solubilizzato!) è dovuto alla grande capacità di incrudimento dell'austenite e all'effetto della trasformazione strutturale dell'austenite in martensite, innescata dall'energia meccanica trasferita all'acciaio durante i processi di deformazione a freddo.

Gli acciai inossidabili austenitici che più facilmente possono essere incruditi saranno perciò quelli con una struttura austenitica instabile, ovvero più prona alla trasformazione in martensite per effetto delle deformazioni indotte meccanicamente. Questo è tipico degli acciai inossidabili a basso tenore di nichel, come è il caso dell'X10CrNi18-8 (simile all' AISI 301); più stabili e perciò più difficilmente incrudibili sono invece gli acciai ad alto tenore di nichel e azoto, come ad esempio l'X8CrNi25-21 (simile all' AISI 310S) o l'X2CrNiMoN17-13-3 (simile all' AISI 316LN). Si veda a questo proposito la figura 39.

³³ Nel settore del pentolame di qualità il problema della scarsa conducibilità degli acciai inossidabili austenitici comporta la necessità di applicare dei fondelli termodiffusori (di solito in alluminio) per consentire un'uniforme distribuzione del calore durante la cottura dei cibi.





Designazione EN	Massa volumica [kg/dm ³]	Calore specifico a 20°C [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	Resistività elettrica a 20°C [W·mm ² ·m ⁻¹]	Conduktività termica [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Dilatazione termica lineare [10 ⁻⁶ ·K ⁻¹]		Modulo elastico [GPa]		Corrispondenza approssimata AISI
					da 20°C a 100°C	da 20°C a 200°C	a 20°C	a 200°C	
X10CrNi18-8 (1.4310)	7,9	500	0,73	15	16,0	17,0	200	186	AISI 301
X8CrNiS18-9 (1.4305)	7,9	500	0,73	15	16,0	16,5	200	186	AISI 303
X5CrNi18-10 (1.4301)	7,9	500	0,73	15	16,0	16,5	200	186	AISI 304
X2CrNi18-9 (1.4307)	7,9	500	0,73	15	16,0	16,5	200	186	AISI 304L
X6CrNiTi18-10 (1.4541)	7,9	500	0,73	15	16,0	16,5	200	186	AISI 321
X6CrNiNb18-10 (1.4550)	7,9	500	0,73	15	16,0	16,5	200	186	AISI 347
X8CrNi25-21 (1.4845)	7,9	500	0,85	15	---	15,5	---	---	AISI 310S
X5CrNiMo17-12-2 (1.4401)	8,0	500	0,75	15	16,0	16,5	200	186	AISI 316
X2CrNiMo17-12-2 (1.4404)	8,0	500	0,75	15	16,0	16,5	200	186	AISI 316L
X2CrNiMoN17-13-3 (1.4429)	8,0	500	0,75	15	16,0	16,5	200	186	AISI 316LN
X6CrNiMoTi17-12-2 (1.4571)	8,0	500	0,75	15	16,5	17,5	200	186	316Ti*
X1NiCrMoCu25-20-5 (1.4539)	8,0	450	1,00	12	15,8	16,1	195	182	904 L*
X1CrNiMoCuN20-18-7 (1.4547)	8,0	500	0,85	14	16,5	17,0	195	182	254 SMO*

* La denominazione indicata non si riferisce al manuale AISI; spesso ci si riferisce ad essa col termine "tipo" (ad es. tipo 904 L).

Tabella 12 – Caratteristiche fisiche indicative di alcuni tra i principali tipi di acciai inossidabili austenitici [tratto da EN 10088].

Designazione EN	Stato metallurgico	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	A [%]	Durezza	Corrispondenza approssimata AISI
X10CrNi18-8 (1.4310)	Solubilizzato	250-300	600-750	40-50	170-220	AISI 301
X5CrNi18-10 (1.4301)	Solubilizzato	220-270	550-650	45-55	160-210	AISI 304
X8CrNiS18-9 (1.4305)	Solubilizzato	200-250	520-630	35-45	170-220	AISI 303
X2CrNi18-9 (1.4307)	Solubilizzato	200-250	520-630	45-55	160-210	AISI 304L
X6CrNiTi18-10 (1.4541) X6CrNiNb18-10 (1.4550)	Solubilizzato + Stabilizzato	230-280	550-650	40-50	170-220	AISI 321 AISI 347
X8CrNi25-21 (1.4845)	Solubilizzato	250-300	550-650	40-50	150-200	AISI 310S
X5CrNiMo17-12-2 (1.4401) X2CrNiMo17-12-2 (1.4404)	Solubilizzato	250-300	550-650	40-50	160-210	AISI 316 AISI 316L
X6CrNiMoTi17-12-2 (1.4571)	Solubilizzato + Stabilizzato	250-300	550-650	40-50	160-210	316Ti*
X2CrNiMoN17-13-3 (1.4429)	Solubilizzato	290-340	600-700	40-50	190-240	AISI 316LN
X1NiCrMoCu25-20-5 (1.4539)	Solubilizzato	230-280	550-650	35-45	170-220	904 L*
X1CrNiMoCuN20-18-7 (1.4547)	Solubilizzato	300-350	700-800	35-45	200-250	254 SMO*

* La denominazione indicata non si riferisce al manuale AISI; spesso ci si riferisce ad essa col termine "tipo" (ad es. tipo 904 L).

Tabella 13 – Caratteristiche meccaniche indicative di alcuni tra i principali tipi di acciaio inossidabile austenitico.



Figura 38 – Effetto della riduzione di sezione in trafilatura sull'incremento della resistenza a trazione di due acciai inossidabili austenitici rispetto ad un comune acciaio al solo carbonio [tratto da Atlas Speciality Metals 2003].

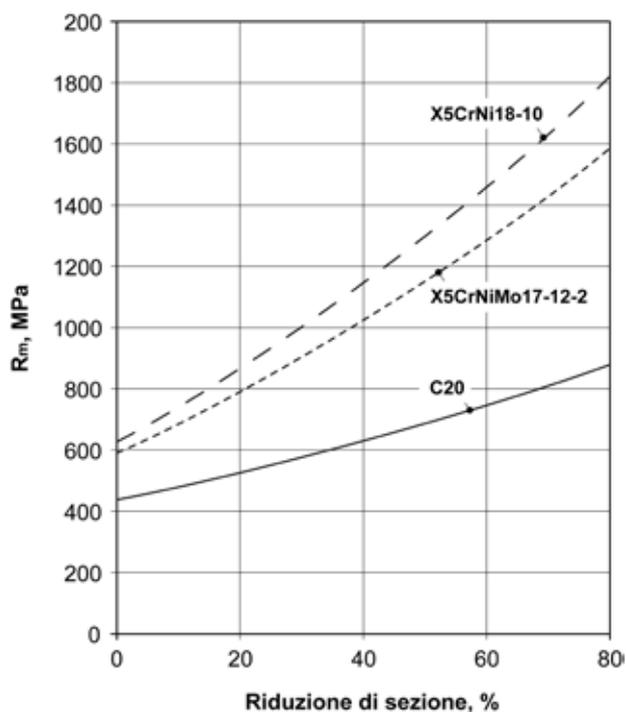
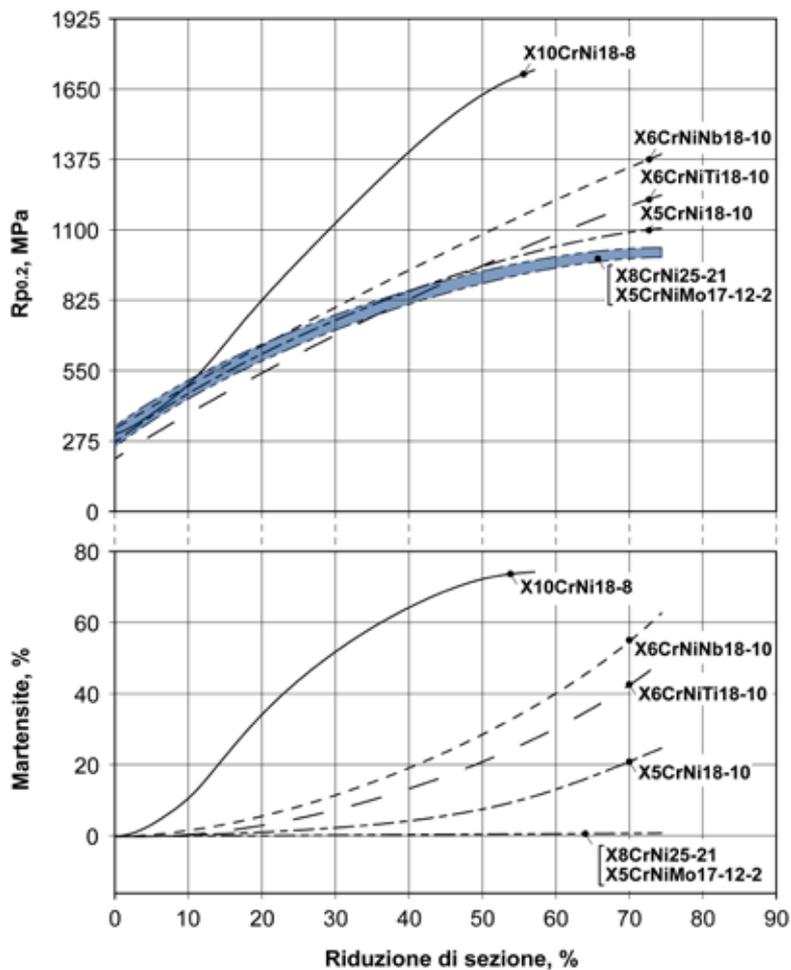


Figura 39 – Effetto della riduzione di sezione in laminazione a freddo sull'incremento della resistenza unitaria a snervamento $R_{p0,2}$ e sulla trasformazione dell'austenite in martensite per vari acciai inossidabili austenitici [tratto da Llewellyn e Hudd 2003].



Una caratteristica meccanica molto interessante di questa famiglia di materiali è l'elevata resistenza alla frattura fragile. A causa del particolare reticolo cristallino, la curva di resilienza degli acciai inossidabili austenitici non evidenzia mai la transizione verso il comportamento fragile, rimanendo invece tenace fino a temperature prossime allo zero assoluto (vedi figura 40): per tali motivi gli acciai inossidabili austenitici vengono largamente impiegati nelle applicazioni criogeniche.

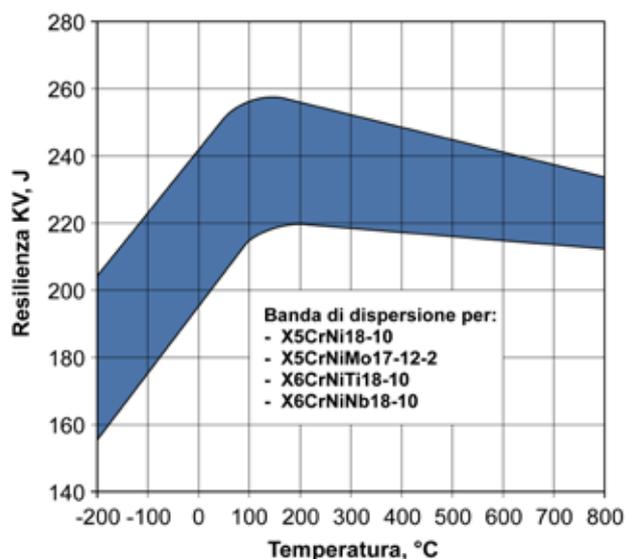


Figura 40 – Andamento della resilienza tipo Charpy V eseguita a varie temperature per differenti acciai inossidabili austenitici [tratto da Llewellyn e Hudd 2003].

8.4 Tipi ed applicazioni

L'acciaio X5CrNi18-10 (simile all'AISI 304) è il capostipite degli acciai inossidabili austenitici al cromo-nichel: esso rappresenta il singolo materiale maggiormente prodotto ed utilizzato tra tutti gli acciai inossidabili.

Si tratta di un acciaio di larghissimo impiego in moltissimi ambiti (industriale, civile, militare, ecc.) con caratteristiche meccaniche non particolarmente elevate ma con una resistenza alla corrosione notevolmente superiore rispetto a quella dei tipi martensitici e ferritici al solo cromo. Il tipo X5CrNi18-10 è facilmente deformabile a freddo ed è saldabile impiegando appositi elettrodi.

Viene ampiamente utilizzato in svariate applicazioni: caldaie, autoclavi, recipienti, scambiatori di calore, tubi di trasporto di fluidi, rubinetterie, ascensori, insegne. È di largo impiego nell'edilizia e nell'arredo urbano, nell'utensileria domestica (pentolame, posateria, elettrodomestici), nei lavelli e nelle cappe, nonché nell'industria chimica, petrolchimica, nucleare, farmaceutica, di produzione del latte, della birra, delle conserve alimentari, della carta e della cellulosa, dei coloranti e degli esplosivi. Per la sua elevata tenacità alle bassissime temperature è anche molto utilizzato nel settore della criogenia per lo stoccaggio e il trasporto dei gas liquefatti.



In strettissimo rapporto di parentela con l'acciaio X5CrNi18-10, i tipi X6CrNiTi18-10 (simile all'AISI 321) e X6CrNiNb18-10 (simile all'AISI 347) sono le versioni stabilizzate al titanio e al niobio. Poiché tali materiali hanno una resistenza alla corrosione confrontabile con quella dell'X5CrNi18-10, vengono impiegati nelle medesime applicazioni, soprattutto per la realizzazione di manufatti di grosse dimensioni e/o di elevato spessore che devono essere sottoposti ad operazioni di saldatura. Val la pena sottolineare come i tipi stabilizzati siano inadatti per le applicazioni decorative poiché la presenza di carburi di titanio o niobio affioranti in superficie non permette di garantire un'ottima finitura superficiale.

Per contro l'X6CrNiTi18-10 e l'X6CrNiNb18-10 mostrano una resistenza meccanica a caldo superiore al tradizionale X5CrNi18-10: oltre che nelle applicazioni tradizionali, essi vengono impiegati anche per la realizzazione di collettori di scarico, corpi caldaia, reattori chimici, apparecchi a pressione e tubi per resistenze corazzate.

L'X2CrNi18-9 (simile all'AISI 304L) è invece la versione a basso carbonio dell'X5CrNi18-10: anche questa composizione è stata messa a punto per risolvere le problematiche di precipitazione dei carburi di cromo durante la saldatura e rappresenta una valida alternativa ai tipi stabilizzati segnalati in precedenza. La resistenza meccanica, sia a temperatura ambiente che a caldo, è però inferiore a quella degli acciai inossidabili stabilizzati; eccellente è invece la finitura superficiale. L'X2CrNi18-9 viene molto usato per eseguire riporti di saldatura, per la costruzione di serbatoi di grosse dimensioni, per reattori di elevato spessore, nonché per tutte le applicazioni ove l'aspetto estetico dell'acciaio inossidabile è di grande importanza.

L'acciaio X10CrNi18-8 (simile all'AISI 301) è l'inossidabile austenitico più utilizzato allo stato incrudito: è stato messo a punto con lo scopo specifico di ottenere elevata resistenza meccanica dopo deformazione plastica a freddo. Viene molto usato per la realizzazione di catene per nastri trasportatori, molle, strutture portanti per il settore *automotive* e, talvolta, anche per produrre coltelli. Non è adatto alle operazioni di imbutitura e di profondo stampaggio.

Il tipo X8CrNiS18-9 (simile all'AISI 303) è la versione a lavorabilità migliorata dell'X5CrNi18-10: la presenza di zolfo favorisce la truciolabilità alle macchine utensili; si nota per contro un peggioramento della resistenza alla corrosione, in particolare per quanto riguarda i fenomeni di attacco localizzato. L'X8CrNiS18-9 è molto usato nella minuteria metallica e per la produzione di viti, dadi, perni e boccole.

Infine il tipo X8CrNi25-21 (simile all'AISI 310S), acciai inossidabile austenitico resistente all'ossidazione a caldo. Viene impiegato per componenti o parti di impianto che devono resistere ad atmosfere ossidanti non solforose a temperature fino a 1100°C. Nel caso di atmosfere ossidanti solforose o carburanti le massime temperature d'esercizio sono dell'ordine di 1000°C; nelle atmosfere riducenti la temperatura d'impiego è limitata a 750°C. Con questo acciaio si realizzano crogioli per bagni di sali, cassette per cementazione, tubi di protezione per coppie termoelettriche, muffole per forni di patentamento, storte di distillazione e tubazioni per impianti di *cracking* e di *reforming*.

La famiglia degli acciai inossidabili al cromo-nichel-molibdeno ha come capostipite il tipo X5CrNiMo17-12-2 (simile all'AISI 316) contenente 2-2,5% di molibdeno. Si tratta del materiale di riferimento per la



fabbricazione di componenti o parti di impianto operanti in atmosfere marine o soggette a significativi problemi di corrosione: solitamente viene impiegato quando gli acciai inossidabili al cromo-nichel (come l'X5CrNi18-10) non riescono a soddisfare le condizioni d'esercizio. Prodotto in grandi quantitativi, è un acciaio facilmente deformabile e saldabile e con caratteristiche meccaniche confrontabili a quelle del tipo X5CrNi18-10.

L'acciaio inossidabile X5CrNiMo17-12-2 ha elevata resistenza alla corrosione in acqua di mare, a contatto con acque di processo contaminate da alogenuri (Cl⁻, I⁻, F⁻), con condense acide e con acque di scarico; ha eccellente comportamento in presenza di acidi organici o di soluzioni alcaline, evidenziando anche una discreta resistenza nelle soluzioni diluite di acido solforico, cloridrico o fosforico.

Questo acciaio è molto usato negli impianti chimici, petrolchimici e nelle strutture *off-shore* così come nell'industria alimentare, farmaceutica e nel settore della tintoria. A causa del comportamento amagnetico è impiegato in alcune applicazioni militari come, ad esempio, per la realizzazione dello scafo dei sottomarini. Per quanto riguarda il tipo stabilizzato al titanio, X6CrNiMoTi17-12-2 (simile al tipo 316Ti), e quello a basso carbonio, X2CrNiMo17-12-2 (simile all'AISI 316L), valgono analoghe considerazioni a quanto già fatto per i tipi stabilizzati e a basso carbonio dell'X5CrNi18-10: entrambi gli acciai sono l'ideale nelle operazioni di saldatura, evitando di dover eseguire un trattamento di solubilizzazione aggiuntivo per eliminare gli eventuali carburi di cromo formati.

Per incrementare ulteriormente la resistenza alla corrosione sono stati messi a punto gli acciai inossidabili X1NiCrMoCu25-20-5 (simile al 904L) e X1CrNiMoCuN20-18-7 (simile al 254 SMO), il primo appartenente alla famiglia dei cosiddetti "superaustenitici": si tratta di due acciai inossidabili speciali utilizzati in particolari applicazioni.

Il tipo X1NiCrMoCu25-20-5, a causa dell'elevato contenuto di nichel, è molto resistente alle soluzioni di acido solforico e fosforico (sia diluite che concentrate) e viene utilizzato negli impianti di stoccaggio e di trasporto.

Il tipo X1CrNiMoCuN20-18-7 ha invece elevatissima resistenza all'attacco da cloruri a motivo dell'elevato tenore di cromo e di molibdeno. È usato negli impianti di dissalazione, nel settore chimico e nei sistemi di sbiancatura della cellulosa ove si fa largo uso di sostanze candeggianti.



9. ACCIAI INOSSIDABILI AUSTENO-FERRITICI

9.1 Metallurgia

Gli acciai inossidabili austeno-ferritici (anche chiamati *Duplex* o bifasici) devono la loro denominazione alla presenza di una struttura mista di austenite e ferrite a temperatura ambiente. Questo è il risultato della combinazione di cromo e di nichel opportunamente bilanciati nella composizione chimica della lega: tipicamente gli acciai inossidabili *Duplex* hanno infatti tenori di cromo compresi tra 22% e 25% e di nichel tra 4% e 7% con aggiunte in molti casi di molibdeno (3-4%) e di azoto (0,1-0,25%).

In tabella 14 è mostrata la composizione chimica di alcuni tra gli acciai inossidabili austeno-ferritici più utilizzati e la relativa designazione secondo la norma EN 10088. Si tenga presente che più comunemente viene usata la denominazione commerciale originariamente sviluppata da Sandvik: essa prevede una doppia coppia di numeri in cui il primo indica il tenore di cromo e il secondo di nichel (ad esempio 2205 sta per un acciaio inossidabile bifasico con 22% di cromo e 5% di nichel).

Il diagramma di stato degli acciai inossidabili *Duplex* (già riportato in figura 9) mostra un'iniziale solidificazione in fase ferritica e solo successivamente la struttura diviene bifasica per rimanere pressoché inalterata fino a temperatura ambiente. A temperature dell'ordine di 1050°-1150°C si riesce ad ottenere un rapporto ottimale tra l'austenite e la ferrite (le due fasi oscillano tra il 40% e il 60%), in modo tale da avere elevate caratteristiche meccaniche e di resistenza alla corrosione; in particolare gli acciai inossidabili bifasici eccellono per la loro notevole resistenza nei confronti del fenomeno della *Stress Corrosion Cracking* o corrosione sotto tensione in soluzioni ricche di cloruri.

Gli acciai inossidabili *Duplex* permettono di combinare le peculiari proprietà di resistenza alla corrosione degli acciai inossidabili austenitici e ferritici; tuttavia condividono anche alcune specifiche problematiche, tipiche degli uni e degli altri, come la precipitazione dei carburi di cromo, la presenza di fase nocive che si formano attorno ad 800°C ed il problema dell'infragilimento a 475°C.

La formazione di carburi/nitruri e di fasi intermetalliche (σ , χ e Laves), anche per brevi periodi di esposizione tra i 550°C e i 900°C, può provocare sensibili riduzioni della tenacità del materiale, oltre che peggiorare notevolmente la resistenza alla corrosione. Grande attenzione deve quindi essere posta a tutti quei processi tecnologici che vedono coinvolte alterazione termiche a danno dell'acciaio: questo è il caso, ad esempio, delle operazioni di saldatura oppure durante il raffreddamento dopo forgiatura di semilavorati di medie-grosse dimensioni.

Analoghe alterazioni della tenacità e della resistenza alla corrosione si manifestano in corrispondenza di temperature attorno a 475°C a causa della decomposizione spinodale della ferrite. L'esistenza di tale fenomeno di degrado, unitamente al precedente attorno agli 800°C, vincola l'impiego in esercizio degli acciai inossidabili bifasici a temperature non superiori a 300°C.

Per una valutazione complessiva delle due problematiche sopradescritte si veda la figura 41 che permette di valutare la formazione delle fasi deleterie al variare della temperatura e del tempo di mantenimento per alcune tipologie di acciai inossidabili bifasici.



Designazione EN	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%N	Denominazione Sandvik
X2CrNiN23-4 (1.4362)	≤0,03	≤1,00	≤2,00	≤0,035	≤0,015	22,0-24,0	3,50-5,50	0,10-0,60	0,05-0,20	2304
X2CrNiMoN22-5-3 (1.4462)	≤0,03	≤1,00	≤2,00	≤0,035	≤0,015	21,0-23,0	4,50-6,50	2,50-3,50	0,10-0,22	2205
X2CrNiMoN25-7-4 (1.4410)	≤0,03	≤1,00	≤2,00	≤0,035	≤0,015	24,0-26,0	6,00-8,00	3,00-4,50	0,24-0,35	2507

Tabella 14 – Composizione chimica di alcuni tra i principali tipi di acciaio inossidabile austeno-ferritico (o *Duplex*) [tratto da EN 10088].

Designazione EN	Solubilizzazione	Raffreddamento	Denominazione Sandvik
X2CrNiN23-4 (1.4362)	950°C-1050°C	acqua, aria	2304
X2CrNiMoN22-5-3 (1.4462)	1020°C-1100°C	acqua	2205
X2CrNiMoN25-7-4 (1.4410)	1040°C-1120°C	acqua	2507

Tabella 15 – Caratteristiche indicative del trattamento termico di solubilizzazione di alcuni tra i principali tipi di acciaio inossidabile austeno-ferritico.



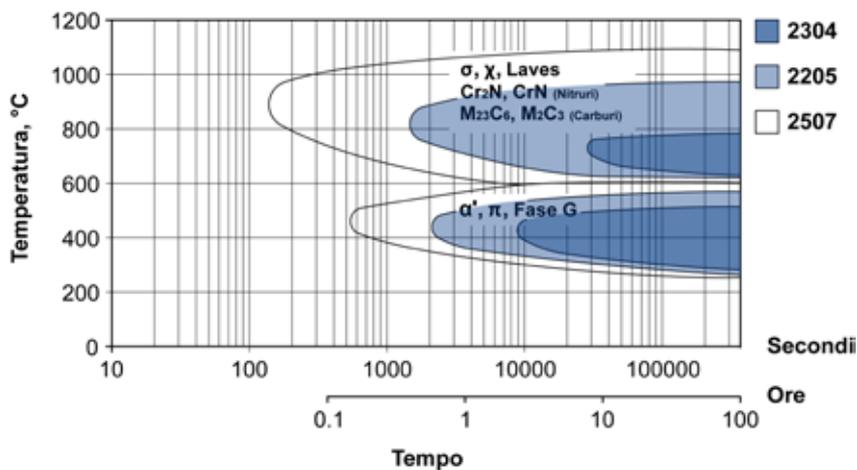


Figura 41 – Diagramma tempo-temperatura relativo agli intervalli di infragilimento attorno a 800°C e a 475°C per tre acciai inossidabili *Duplex* di largo impiego.

9.2 Trattamenti termici

I semilavorati in acciaio inossidabile bifasico devono essere sempre sottoposti ad un trattamento di solubilizzazione prima di essere messi in esercizio. Tale trattamento termico è eseguito abitualmente mantenendo l'acciaio nell'intervallo di temperature 1050°-1150°C; successivamente viene effettuato un rapido raffreddamento in acqua³⁴ per ottimizzare il rapporto austenite-ferrite (prossimo all'unità) e per favorire la solubilizzazione delle fasi indesiderate eventualmente formatesi durante i processi di fabbricazione e trasformazione.

In tabella 15 sono indicate le modalità di trattamento termico da adottare per le più comuni tipologie di acciaio inossidabile bifasico.

Anche per questi materiali sia il trattamento di solubilizzazione che la successiva fase di raffreddamento vengono spesso effettuate in atmosfera controllata per evitare l'ossidazione superficiale del semilavorato.

9.3 Proprietà fisiche e meccaniche

In tabella 16 sono mostrate le caratteristiche fisiche di alcuni tra i più comuni acciai inossidabili bifasici. Si osservi come la maggior parte delle proprietà fisiche siano del tutto confrontabili con quelle degli acciai inossidabili austenitici (calore specifico, conduttività, resistività e modulo elastico); l'unica eccezione è data dalla dilatazione termica che è intermedia tra quella degli acciai inossidabili austenitici e quella dei ferritici. Quando viene esposto ai campi magnetici, il comportamento dei *Duplex* è ferromagnetico, in analogia a quanto avviene per gli acciai inossidabili ferritici.

³⁴ Solo nel caso di pezzi di piccole dimensioni si può pensare di operare un raffreddamento in aria.



Designazione EN	Massa volumica [kg/dm ³]	Calore specifico a 20°C [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	Resistività elettrica a 20°C [W·mm ² ·m ⁻¹]	Conducibilità termica [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Dilatazione termica lineare [10 ⁻⁶ ·K ⁻¹]		Modulo elastico [GPa]		Denominazione Sandvik
					da 20°C a 100°C	da 20°C a 200°C	a 20°C	a 200°C	
X2CrNiN23-4 (1.4362)	7,8	500	0,80	15	13,0	13,5	200	186	2304
X2CrNiMoN22-5-3 (1.4462)	7,8	500	0,80	15	13,0	13,5	200	186	2205
X2CrNiMoN25-7-4 (1.4410)	7,8	500	0,80	15	13,0	13,5	200	186	2507

Tabella 16 - Caratteristiche fisiche indicative di alcuni tra i principali tipi di acciaio inossidabile austeno-ferritico (o Duplex) [tratto da EN 10088].

Designazione EN	Stato metallurgico	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	A [%]	Durezza	Corrispondenza Sandvik
X2CrNiN23-4 (1.4362)	Solubilizzato	420-480	650-750	25-35	200-250	2304
X2CrNiMoN22-5-3 (1.4462)	Solubilizzato	460-520	700-800	25-35	200-250	2205
X2CrNiMoN25-7-4 (1.4410)	Solubilizzato	520-580	750-850	25-35	230-280	2507

Tabella 17 - Caratteristiche meccaniche indicative di alcuni tra i principali tipi di acciaio inossidabile austeno-ferritico (o Duplex).



La particolare microstruttura degli acciai inossidabili bifasici consente di ottenere elevati valori sia del carico unitario di snervamento $R_{p0,2}$ (che risulta essere all'incirca il doppio rispetto agli acciai inossidabili austenitici) sia del carico unitario di rottura R_m . In tabella 17 sono riportate alcune caratteristiche meccaniche indicative per le principali tipologie di acciai inossidabili bifasici.

Le elevate proprietà resistenziali degli acciai *Duplex*, nettamente superiori rispetto a quelle degli acciai inossidabili austenitici e ferritici tradizionali, sono molto importanti in sede progettuale poiché consentono di diminuire sensibilmente le sezioni resistenti dei componenti.

Gli acciai inossidabili bifasici hanno inoltre un ottimo comportamento in termini di resilienza: la loro temperatura di transizione si attesta attorno a -80°C . Un confronto qualitativo delle caratteristiche di resilienza di questi acciai rispetto agli acciai inossidabili austenitici o ai ferritici è presentato in figura 42.

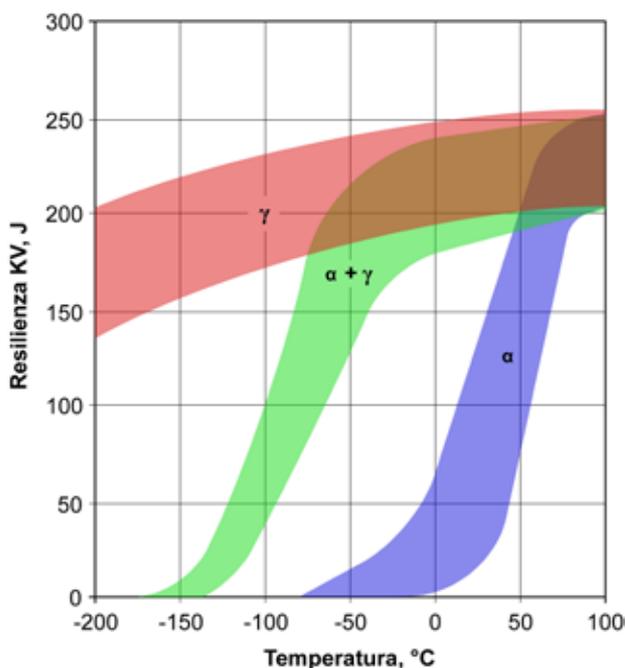


Figura 42 – Effetto della microstruttura sulla resilienza di alcune famiglie di acciai inossidabili (γ = austenite; $\alpha + \gamma$ = ferrite e austenite; α = ferrite) [tratto da Nicodemi 2002].

9.4 Tipi ed applicazioni

L'X2CrNiN23-4 (tipo 2304) è il capostipite degli acciai inossidabili bifasici basso legati: questo acciaio è stato messo a punto per competere economicamente con i tradizionali acciai inossidabili austenitici X5CrNi18-10 e X5CrNiMo17-12-2 in quei settori ove è fondamentale la resistenza meccanica e la resistenza alla corrosione in ambienti clorurati. Viene usato negli impianti di produzione di acido nitrico e a contatto con sostanze caustiche (concentrazioni $<30\%$), con acidi organici o con soluzioni acquose ricche di cloruri.



L'acciaio X2CrNiMoN22-5-3 (tipo 2205) è sicuramente il più diffuso tra gli acciai inossidabili bifasici: ha un'elevata resistenza meccanica ed eccellenti caratteristiche anticorrosive, specialmente in ambienti marini ove il suo comportamento è nettamente superiore rispetto a quello dell'X5CrNiMo17-12-2. Largamente impiegato in campo chimico e petrolchimico, in ambienti contaminati da cloruri e in presenza di anidride carbonica-CO₂ o di acido solfidrico-H₂S³⁵; è molto usato negli impianti di dissalazione e a contatto con soluzioni diluite e concentrate di acido solforico, fosforico, acetico e formico.

Da ultimo l'acciaio X2CrNiMoN25-7-4 (tipo 2507): costituisce l'evoluzione del tipo 2205 ed è stato messo a punto per garantire un ulteriore incremento delle proprietà tensili e della resistenza alla corrosione. Ha un impiego più di nicchia rispetto al tipo precedente, rappresentando però una possibile alternativa ai "superaustenitici" ed alle leghe di titanio; viene usato nei pozzi petroliferi e nelle condotte sottomarine dove è richiesta notevole resistenza ai fenomeni di corrosione-fatica e all'usura erosiva, oltre che al tradizionale degrado indotto dall'ambiente marino.

³⁵ L'acido solfidrico è anche noto con il nome di idrogeno solforato.



10. ACCIAI INOSSIDABILI INDURENTI PER PRECIPITAZIONE

10.1 Metallurgia

Gli acciai inossidabili indurenti per precipitazione (o PH – *Precipitation Hardening*) sono nati con lo scopo di migliorare il comportamento meccanico degli acciai inossidabili martensitici (in particolare la tenacità a frattura), incrementando nel contempo la resistenza alla corrosione.

Sono classificati in base alla microstruttura che hanno al termine dell'iniziale trattamento termico di solubilizzazione: si suddividono in martensitici, semi-austenitici e austenitici³⁶. La fase di indurimento (successiva alla solubilizzazione) consiste in un rafforzamento del materiale attraverso la precipitazione finemente dispersa di composti intermetallici e interstiziali nel reticolo cristallino dell'acciaio. A questo scopo vengono aggiunti elementi di lega quali l'alluminio, il rame, il titanio e il niobio che danno origine a composti del tipo $Ni_3(Al,Ti)$, Ni_3Ti e $NiAl$ o $Fe_2(Mo,Nb)$ o anche carbonitruri tipo $M(C,N)$ con $M = Nb, Ti, Cr$; il rame invece non forma composti ma precipita sotto forma di particelle metalliche di piccolissime dimensioni che rinforzano la matrice dell'acciaio.

Negli acciai inossidabili indurenti per precipitazione è sempre presente il nichel, sia per migliorare la resistenza alla corrosione che per rendere tenace la massa metallica; il carbonio è in tenori abitualmente molto bassi ($C \leq 0,1\%$) e spesso viene aggiunto anche il molibdeno in funzione anticorrosiva.

In tabella 18 è riportata la composizione chimica di alcuni tra i principali tipi di acciaio inossidabile indurente per precipitazione.

10.2 Trattamenti termici, proprietà fisiche e meccaniche

I semilavorati in acciaio inossidabile indurente per precipitazione posseggono allo stato di fornitura, cioè dopo trattamento di solubilizzazione, una microstruttura caratterizzata da discreta deformabilità plastica a freddo e buona lavorabilità alle macchine utensili: successivamente il pezzo viene sottoposto al trattamento di invecchiamento per ottenere le proprietà meccaniche atte a resistere alle sollecitazioni d'esercizio.

Gli acciai inossidabili indurenti per precipitazione di tipo martensitico, come ad esempio l'X5CrNiCuNb16-4 (anche chiamato 17-4 PH), vengono di norma solubilizzati a 1030°-1060°C e quindi raffreddati in aria: si ottiene una struttura martensitica a basso carbonio avente bassa durezza e discreta deformabilità.

Alla fine delle operazioni di formatura e di asportazione di truciolo, il semilavorato viene sottoposto a trattamento di invecchiamento, eseguito tra i 480°C e i 630°C per tempi variabili da 1 a 4 ore³⁷.

³⁶ Come meglio si vedrà nel paragrafo dedicato al trattamento termico, gli acciai inossidabili PH martensitici e PH austenitici mantengono la loro microstruttura fino alla fine del processo termico di indurimento, mentre i PH semiaustenitici subiscono un ulteriore trattamento termico che induce la trasformazione della microstruttura iniziale in martensite.

³⁷ Il trattamento di solubilizzazione viene indicato con la lettera A (Annealing) mentre il trattamento di indurimento è indicato dalla lettera H (Hardening) seguita dalla temperatura di invecchiamento in gradi Fahrenheit. Ad esempio A + H925 indica che l'acciaio è stato solubilizzato e invecchiato a 495°C (925°F).



Designazione EN	Denominazione comune	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	Altri	Denominazione approssimata AISI
X5CrNiCuNb16-4 (1.4542)	17-4 PH	≤0,07	≤0,70	≤1,50	≤0,040	≤0,015	15,0 17,0	3,50 5,00	≤0,60	1	AISI 630
X7CrNiAl17-7 (1.4568)	17-7 PH	≤0,09	≤0,70	≤1,00	≤0,040	≤0,015	16,0 18,0	6,50 7,80	---	2	AISI 631
X5NiCrTiMoVB25-15-2 (1.4606)	A-286	≤0,08	≤1,00	1,00 2,00	≤0,025	≤0,015	13,0 16,0	24,00 27,00	1,00 1,50	3	AISI 600

1: %Cu = 3,00-5,00; %Nb = 5 x C - 0,45

2: %Al = 0,70 - 1,50

3: %B = 0,001 - 0,010; %Ti = 1,90 - 2,30; %V = 0,10 - 0,50; %Al £ 0,35

Tabella 18 – Composizione chimica di alcuni tra i principali tipi di acciaio inossidabile indurente per precipitazione [tratto da EN 10088].



In questo modo è possibile ottenere una resistenza unitaria a trazione R_m tra 850 MPa e 1400 MPa con un allungamento $A\%$ variabile dal 25% al 12% (vedi figura 43); la resilienza a temperatura ambiente oscilla tra 40J (se $R_m = 1400$ MPa) e 100J (se $R_m = 850$ MPa).

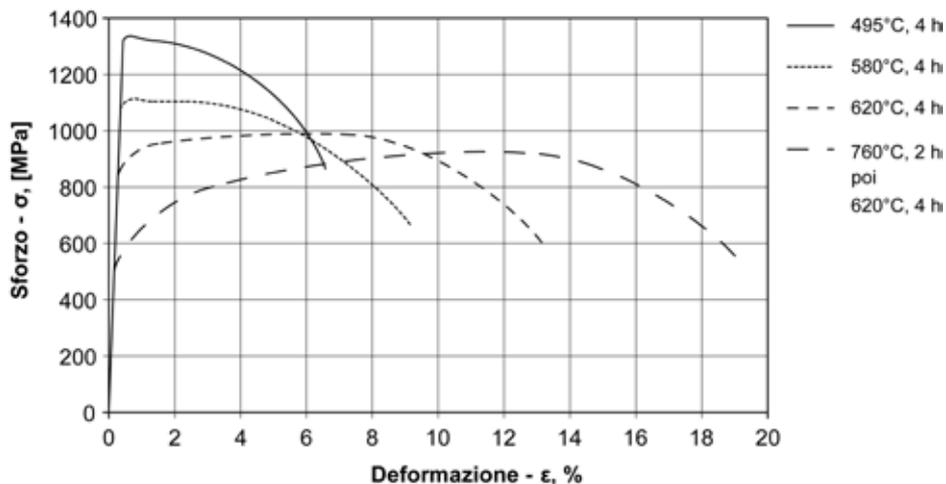


Figura 43 – Acciaio X5CrNiCuNb16-4 (anche chiamato 17-4 PH) solubilizzato a 1050°C in aria, quindi invecchiato secondo differenti modalità: curve sforzi-deformazioni [laboratori del Dipartimento di Meccanica, Politecnico di Milano, Milano].

Gli acciai inossidabili indurenti per precipitazione di tipo semiaustenitico, come ad esempio l'X7CrNiAl17-7 (anche chiamato 17-7 PH), a temperatura ambiente hanno struttura prevalentemente austenitica dopo solubilizzazione³⁸: ciò rende agevole l'esecuzione di operazioni di deformazione plastica a freddo molto spinte quali la laminazione in lamiere sottili e nastri. A causa della particolare composizione chimica, la struttura austenitica dopo solubilizzazione è però instabile e, per effetto sia delle operazioni di deformazione plastica a freddo che per l'azione di opportuni trattamenti termici, viene trasformata in martensite³⁹. Sulla struttura martensitica così ottenuta si eseguirà il trattamento termico di invecchiamento, in analogia a quanto avviene nei normali acciai inossidabili PH di tipo martensitico.

Una schematizzazione dei possibili processi tecnologici effettuabili su un acciaio inossidabile indurente per precipitazione semiaustenitico tipo X7CrNiAl17-7 è mostrato in figura 44. Le caratteristiche meccaniche oscillano tra 1300 MPa e 1700 MPa per il carico unitario di rottura R_m e tra 1100 MPa e 1500 MPa per il carico unitario di snervamento $R_{p0,2}$; la durezza si attesta sui 42-48 HRC.

³⁸ Negli acciai inossidabili indurenti per precipitazione di tipo semiaustenitico la struttura dopo solubilizzazione contiene sempre anche un certo quantitativo di ferrite.

³⁹ La denominazione di acciai inossidabili "semiaustenitici" deriva proprio dall'instabilità a temperatura ambiente dell'austenite presente in questi acciai.



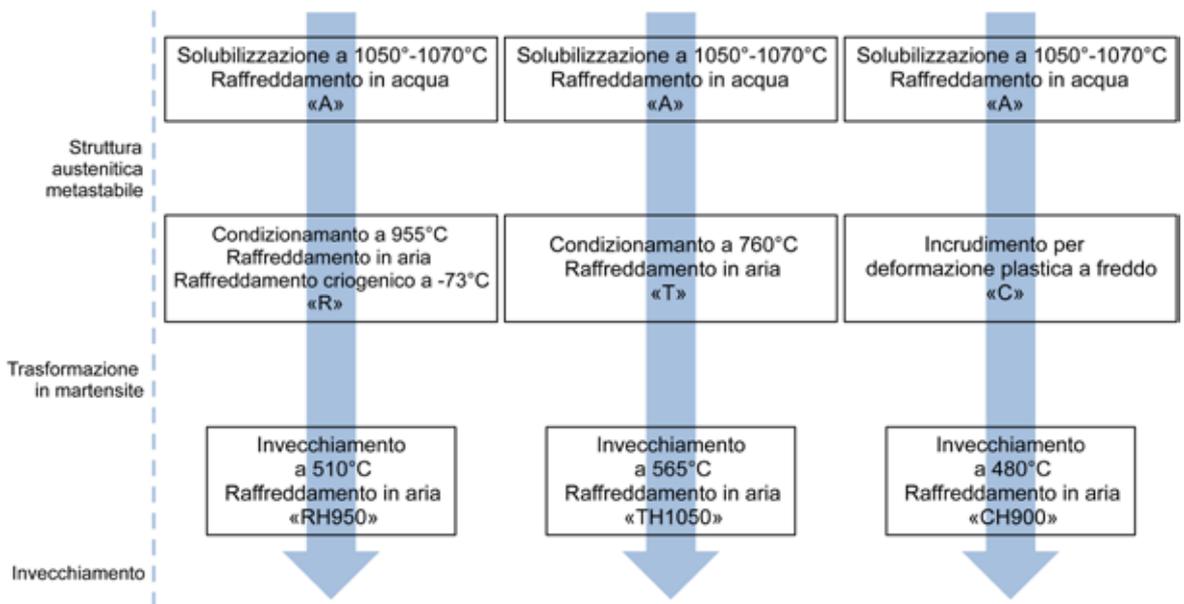


Figura 44 – Acciaio X7CrNiAl17-7 (anche chiamato 17-7PH): possibili trattamenti termici e termomeccanici necessari per provocare l'indurimento per precipitazione.

Da ultimo gli acciai inossidabili indurenti per precipitazione di tipo austenitico, come l'X5NiCrTiMoVB25-15-2 (anche chiamato A-286⁴⁰).

A causa del tenore rilevante di nichel, la struttura di questo acciaio è completamente austenitica ed è molto stabile anche dopo deformazione plastica a freddo. Il trattamento di solubilizzazione è eseguito tra 970°C e 1050°C con raffreddamento in acqua o in olio; l'invecchiamento avviene tra i 650°C e i 750°C.

In figura 45 è mostrato l'andamento della durezza per l'acciaio X5NiCrTiMoVB25-15-2 dopo solubilizzazione, incrudimento a freddo per laminazione e successivo invecchiamento a temperature variabili.

Le proprietà fisiche di alcuni tra i principali tipi di acciaio inossidabile indurente per precipitazione sono mostrate in tabella 19.

10.3 Tipi ed applicazioni

Gli acciai inossidabili indurenti per precipitazione sono generalmente presenti sul mercato sotto forma di prodotti lunghi in barre tonde o esagonali, meno diffusi i piatti e le lamiere.

Vengono impiegati in ambito aeronautico ed aerospaziale, in campo navale, nell'industria chimica e petrolchimica e nel settore energetico per la realizzazione di componenti caratterizzati da elevata resistenza

⁴⁰ Si noti che questo acciaio è anche denominato Incoloy A-286: Incoloy è la denominazione commerciale che la statunitense Special Metal Corporation assegna alle superleghe Fe-Ni-Cr di propria produzione.



meccanica ed alla corrosione quali valvole, alberi, cuscinetti, palette di turbina e compressore. Si segnalano applicazioni anche per celle di carico, ruote dentate, armi da fuoco, utensili, molle e strumenti chirurgici.

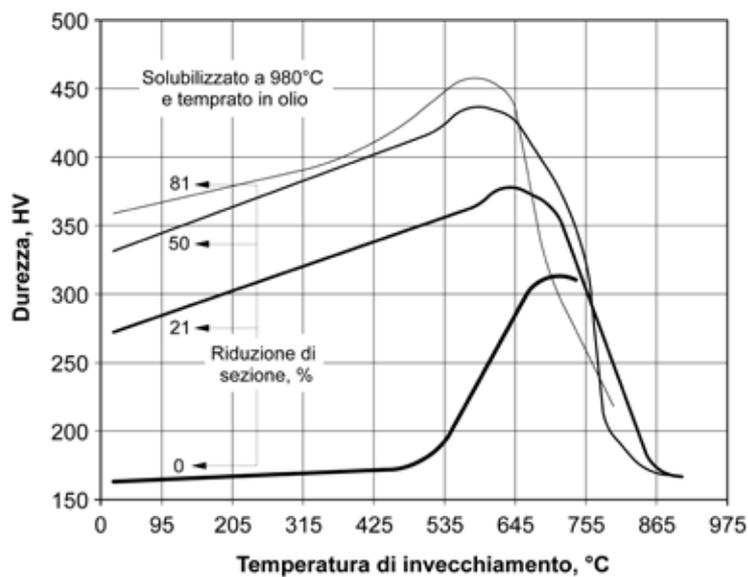


Figura 45 – Andamento della durezza in funzione della temperatura di invecchiamento per una acciaio X5NiCrTiMoVB25-15-2 (anche chiamato A-286) dopo solubilizzazione e tempra in olio e laminazione a freddo a vari livelli di incrudimento [tratto da McGuire 2008].



Designazione EN	Denominazione comune	Massa volumica [kg/dm ³]	Calore specifico a 20°C [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	Resistività elettrica a 20°C [W·mm ² ·m ⁻¹]	Conduktività termica [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Dilatazione termica lineare [10 ⁻⁶ ·K ⁻¹]		Modulo elastico [GPa]		Denominazione approssimata AISI
						da 20°C a 100°C	da 20°C a 200°C	a 20°C	a 200°C	
X5CrNiCuNb16-4 (1.4542)	17-4 PH	7,8	500	0,71	16	10,9	---	200	185	AISI 630
X7CrNiAl17-7 (1.4568)	17-7 PH	7,8	500	0,80	16	13,0	13,5	200	185	AISI 631
X5NiCrTiMoVB25-15-2 (1.4606)	A-286	7,9	460	0,91	14	16,5	16,8	211	200	AISI 600

Tabella 19 – Caratteristiche fisiche indicative di alcuni tra i principali tipi di acciaio inossidabile indurente per precipitazione [tratto da EN 10088].



11. LA CORROSIONE DEGLI ACCIAI INOSSIDABILI

11.1 Introduzione⁴¹

Gli acciai inossidabili vengono impiegati principalmente per l'eccellente resistenza alla corrosione e forse è proprio per questo motivo che la corrosione rappresenta la loro più tipica forma di degrado in esercizio: di conseguenza è necessario approfondire il problema perché solo attraverso la conoscenza dei meccanismi di danneggiamento sarà possibile indicare i corretti criteri di scelta e di impiego di questa famiglia di materiali. La corrosione è una forma di degrado dovuta a reazioni chimiche ed elettrochimiche che hanno luogo all'interfaccia fra la superficie di un materiale e l'ambiente con cui esso è in contatto: il risultato è un progressivo decadimento delle caratteristiche funzionali degli acciai inossidabili che avviene quando i costituenti principali della lega (Fe, Cr, Ni, Mo, ecc.) si combinano con gli agenti aggressivi presenti nell'ambiente, formando prodotti di corrosione.

La corrosione degli acciai inossidabili può provocare svariati problemi. Nel caso di tubazioni e serbatoi il degrado può dare origine a forature che comportano il rilascio dei fluidi contenuti; negli elementi strutturali invece la corrosione può provocare la diminuzione della sezione resistente con conseguente perdita della capacità di carico del componente. Altri problemi sono poi legati alla formazione dei prodotti di corrosione: ciò può comportare l'alterazione delle caratteristiche estetiche delle superfici o la contaminazione delle sostanze processate (si pensi al caso degli alimenti ed alla possibile alterazione delle loro caratteristiche organolettiche)⁴².

Le modalità di corrosione degli acciai inossidabili possono essere ricondotte a due forme fondamentali:

- corrosione elettrochimica – anche chiamata corrosione ad umido – in cui la lega metallica subisce una reazione di ossidazione in presenza di un elettrolita (di solito acqua); alla reazione di ossidazione è accoppiata una reazione di riduzione delle sostanze presenti nell'ambiente (di solito l'ossigeno): il complesso delle due reazioni, anodica (ossidazione) e catodica (riduzione), coinvolge sia specie chimiche (ioni e molecole) che elettroni;
- corrosione chimica (anche chiamata ossidazione a caldo o corrosione a secco) in cui la lega metallica subisce una reazione di ossidazione a contatto con un'atmosfera gassosa (di solito l'aria); il fenomeno si manifesta abitualmente a temperature ben superiori alla temperatura ambiente (>300°C) e i prodotti di corrosione sono ossidi o sali basso fondenti.

⁴¹ Questo paragrafo e i due successivi riprendono parzialmente l'articolo Boniardi M., Casaroli A., Tagliabue C., *Fenomeni di danneggiamento dei materiali metallici dovuti all'esercizio (Failure Analysis)*, in AA.VV., *Le Prove non Distruttive*, Vol. 1, Associazione Italiana di Metallurgia, Milano 2013.

⁴² Il lettore tenga ben presente che il fenomeno "corrosione" non è limitato alle sole leghe base ferro (acciai comuni, acciai speciali, acciai inossidabili, ghise, ecc.) ma riguarda svariate tipologie di materiali metallici (alluminio, magnesio, rame, titanio, nichel e loro leghe). La mancata risoluzione di problemi di degrado ambientale dei materiali metallici ha notevoli ricadute economiche: è stato stimato che, nei paesi più industrializzati, i danni dovuti alla corrosione siano di entità pari al 4-5% del PIL, sia nella forma di danni diretti da ripristino delle strutture corrose che in termini di danni indiretti da mancata produzione.



La maggior parte delle forme di degrado degli acciai inossidabili (~95%) sono riconducibili all'azione della corrosione elettrochimica o per via umida, mentre solo una percentuale più contenuta (~5%) è legata a problemi di ossidazione a caldo.

11.2 La corrosione a umido o corrosione elettrochimica

La corrosione a umido degli acciai inossidabili può essere descritta utilizzando il modello elettrochimico: il meccanismo che governa il fenomeno dipende dalla presenza di un processo anodico, ossia l'ossidazione del metallo/lega metallica che va soggetta a corrosione, e di un processo catodico di riduzione di una specie chimica presente nell'ambiente aggressivo (in molti casi si tratta di riduzione di ossigeno o di sviluppo di idrogeno). Affinché la corrosione possa avvenire, la reazione anodica (ossidazione) e quella catodica (riduzione) devono avvenire contemporaneamente e con la stessa velocità sulla superficie della massa metallica.

Per garantire che le reazioni di ossido-riduzione abbiano luogo, è necessario che sia presente un conduttore ionico allo stato liquido, detto elettrolita, che permetta il passaggio di corrente tra la zona anodica e quella catodica: nella maggior parte dei processi corrosivi l'elettrolita è l'acqua (acqua dolce, acqua di mare, condense di vapore acqueo, umidità atmosferica).

Per meglio comprendere il problema consideriamo lo schema mostrato in figura 46: una lastrina di ferro è posta a contatto con una lastrina di rame e la goccia d'acqua è l'elettrolita.

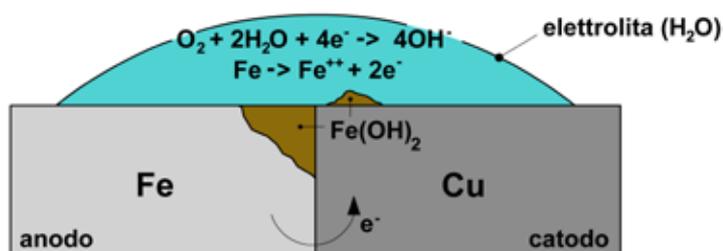


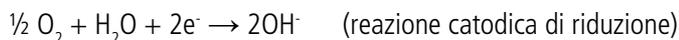
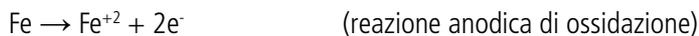
Figura 46 – Schema elettrochimico del fenomeno corrosivo di una lastrina di ferro in contatto con una lastrina di rame.

Poiché il rame è un metallo più nobile del ferro (il rame ha un potenziale elettrochimico maggiore di quello del ferro), si instaura una differenza di potenziale tra rame e ferro, ossia una forza elettromotrice che permette la circolazione di corrente. L'analogia con la pila galvanica è evidente⁴³: il ferro si comporta da anodo, il rame da catodo e la differenza di potenziale tra i due metalli permette la circolazione di corrente. All'anodo (ferro) avviene la reazione di ossidazione e al catodo (rame) avviene contemporaneamente la reazione di riduzione dell'ossigeno.

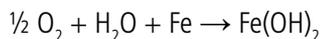
⁴³ Per questo motivo i fenomeni di degrado dovuti al contatto tra metalli o leghe metalliche dissimili prendono il nome di corrosione da contatto galvanico.



Le due reazioni sono:



globalmente ottenendo:



In sintesi: il ferro va progressivamente in soluzione sotto forma di ioni Fe^{+2} , corrodendosi per effetto della presenza del catodo di rame dove si ha la riduzione dell'ossigeno.

Nell'esempio mostrato in precedenza la zona anodica e quella catodica sono nettamente distinte: il fenomeno corrosivo si manifesta a motivo di un accoppiamento galvanico⁴⁴ che rende disponibile una differenza di potenziale "E" dovuta alla differente natura dei due metalli coinvolti.

Non si deve però credere che la corrosione si verifichi soltanto in queste condizioni: molto più comune è il caso di fenomeni di degrado su leghe metalliche non a contatto con metalli dissimili.

Per meglio comprendere il problema è opportuno riprendere l'esperienza di Evans⁴⁵, mostrata in figura 47: essa è particolarmente significativa in quanto spiega il fenomeno della corrosione dei materiali metallici omogenei.

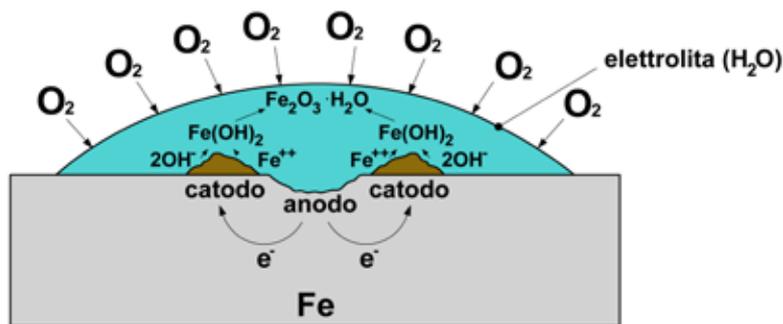


Figura 47 – Esperienza di Evans; fenomeno di corrosione elettrochimica in un materiale metallico omogeneo [tratto da Pedferri 2010].

Prendendo una lastrina di ferro su cui viene posta una goccia di acqua deaerata quale elettrolita, si notano, dopo poco tempo, fenomeni di corrosione solo in prossimità della zona centrale della goccia: ciò che avviene è spiegabile considerando il processo di diffusione di ossigeno nella goccia d'acqua, anche chiamato aerazione differenziale. Inizialmente la composizione chimica della goccia è costante e l'ossigeno è totalmente assente: col tempo, però, a causa del contatto con l'aria, si avranno fenomeni diffusivi dell'ossigeno in prossimità della superficie esterna della goccia (che rappresenta la superficie di scambio con l'aria circostante) e si osserverà una

⁴⁴ Una particolare forma di corrosione, denominata corrosione da contatto galvanico, si manifesta quando l'acciaio inossidabile è posto a contatto con un materiale più nobile (come la grafite) o con uno meno nobile (come l'alluminio).

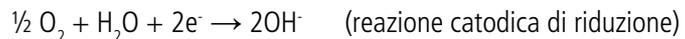
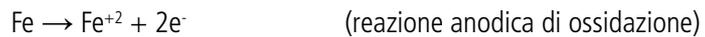
⁴⁵ Ulick Richardson Evans (1889-1980) è stato uno dei padri fondatori della moderna scienza che studia la corrosione e la protezione dei materiali metallici.



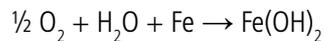
variazione della concentrazione di ossigeno nella goccia. La differente concentrazione di O_2 nella goccia darà origine ad una zona anodica, cioè la zona povera di ossigeno al centro della goccia, e ad una zona catodica, la zona ricca di ossigeno all'esterno della goccia⁴⁶. Si viene quindi a creare una microcoppia locale anodo-catodo in grado di innescare il processo corrosivo.

Il potenziale "E" esistente tra anodo e catodo è una sorta di forza elettromotrice che permette al processo corrosivo di avere luogo: esso è denominato "potenziale di libera corrosione".

La reazione anodica e la reazione catodica sono del tutto analoghe a quelle osservate precedentemente per il contatto galvanico:

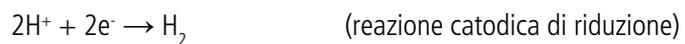
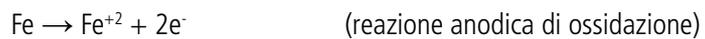


globalmente ottenendo:

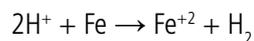


con formazione di prodotti di corrosione (ossidi/idrossidi di ferro).

Qualora la reazione di ossidazione del ferro avvenisse in ambiente acido (come quando si immerge una lastrina di ferro in acido cloridrico), il processo catodico sarà la riduzione dello ione idrogeno a idrogeno gassoso (sviluppo di idrogeno), ossia:



globalmente ottenendo:



Per avere corrosione le due reazioni, anodica e catodica, devono avvenire contemporaneamente: durante la reazione di ossidazione del ferro si generano all'anodo un certo numero di elettroni che, per effetto della reazione di riduzione, vengono consumati al catodo.

Quanto precedentemente descritto è assai comune in tutti i materiali metallici soggetti a corrosione: la presenza, per qualsivoglia motivo, di una microcoppia anodica-catodica mette a disposizione la forza elettromotrice necessaria ad innescare ed alimentare il processo di degrado.

Il fenomeno dell'aerazione differenziale non è però l'unico a dar origine a microcoppie anodiche-catodiche capaci di innescare il degrado: spesso nella combinazione materiale – ambiente corrosivo esistono già particolari condizioni locali atte a generare zone a differente potenziale.

Il problema nasce per vari motivi: eterogeneità di composizione chimica della massa metallica, fasi disomogenee rispetto alla microstruttura della matrice (inclusioni, carburi, ecc.), stati tensionali residui di trazione di entità elevata, difettosità locali del pezzo (microcavità, soffiature, accentuata rugosità, ecc.). Tutte queste zone agiscono da anodo rispetto alla massa metallica circostante che funge da catodo, provocando microcoppie locali con inneschi preferenziali di corrosione.

⁴⁶ L'anodo e il catodo – per essere chiari – sono aree localizzate nella massa metallica a contatto con il liquido: dove c'è stato arricchimento di ossigeno si sviluppa l'area catodica, dove c'è assenza di ossigeno si ha l'area anodica.



Situazioni analoghe nascono anche per effetto della variabilità delle caratteristiche elettrochimiche dell'ambiente corrosivo, come si verifica, ad esempio, in soluzioni con differente concentrazione delle specie nocive, in elettroliti con zone a maggiore o minore stagnazione o con temperature non uniformi.

11.3 Le curve potenziodinamiche

Durante un processo corrosivo si ha sempre un certo numero di ioni che vanno in soluzione nell'elettrolita ed una concomitante circolazione di elettroni nel metallo ossia, come avviene in una pila, una circolazione di corrente elettrica.

Il meccanismo descritto è concatenato: quanto maggiore sarà il quantitativo di ioni ferro che si scioglieranno nella soluzione, tanto maggiore sarà il numero di elettroni circolanti per unità di superficie esposta all'ambiente corrosivo. Questo fa sì che al crescere della densità di corrente⁴⁷ circolante " i_c ", aumenterà la velocità di corrosione " V_{corr} " di quel materiale in quel dato ambiente, ossia:

$$\text{velocità di corrosione, } V_{corr} \propto i_c = i_{anodica} = i_{catodica} \quad 48$$

Il fenomeno corrosivo, giova ripeterlo, è un processo di degrado che si manifesta quando esiste una zona anodica e una zona catodica⁴⁹: tra queste due zone si instaura una differenza di potenziale " E " (detto potenziale di libera corrosione nel caso di corto circuito fra anodo e catodo) che garantisce la circolazione di una densità di corrente " i " proporzionale alla velocità di corrosione del sistema.

La correlazione tra potenziale " E " e densità di corrente " i " della coppia anodo-catodo dipende sia dalle caratteristiche elettrochimiche del processo anodico (cioè "quanto velocemente" si dissolve il metallo") che dalle caratteristiche elettrochimiche del processo catodico (cioè "quanto velocemente" si riduce l'ossigeno o si sviluppa l'idrogeno).

Se si separano i due contributi, cioè se si studia la correlazione " $E - i$ " separatamente per la reazione anodica e per la reazione catodica, è possibile stimare quale sarà l'andamento della densità di corrente circolante " i " al variare della forza elettromotrice applicata " E "⁵⁰.

Questo è proprio quello che Evans fece sperimentalmente e che ancor'oggi è possibile fare in laboratorio: tracciare curve che descrivano la reazione anodica e la reazione catodica al variare delle condizioni di

⁴⁷ Il parametro che meglio descrive i fenomeni elettrochimici di corrosione è la densità di corrente, cioè la corrente circolante per unità di superficie: ciò dipende dal fatto che la corrosione avviene su una data superficie rispetto alla quale si sviluppa una corrente di intensità data.

⁴⁸ Semplici calcoli basati sulla legge di Faraday permettono di correlare numericamente la densità di corrente circolante con la velocità di corrosione: per ogni $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ si ha una penetrazione del degrado pari a $10\text{-}12 \mu\text{m}/\text{anno}$. Il dato indicato è valido per la maggior parte delle leghe ferrose, delle leghe del rame, dell'alluminio e del nichel.

⁴⁹ Vale la pena di ribadire che la zona anodica e la zona catodica possono "risiedere" in due materiali dissimili (caso di figura 46) o essere presenti in aree differenti del medesimo materiale (caso di figura 47).

⁵⁰ La correlazione potenziale " E " - densità di corrente " i " che viene misurata sperimentalmente in elettrochimica è, *mutatis mutandis*, simile a quella che si cerca quando si vuole stabilire la resistenza elettrica di un conduttore: si fa variare con continuità il potenziale " V " e si misurano le variazioni di corrente " I ", ottenendo la ben nota relazione di Ohm $V = RI$.



tensione "E" applicata, ovvero la relazione esistente tra la tensione imposta "E" e la densità di corrente circolante "i" sia nell'area anodica che nell'area catodica.

Le curve ottenute sperimentalmente sono mostrate in figura 48: esse prendono il nome di curve potenziodinamiche, o diagrammi di Evans, l'una per il processo anodico (caratteristica anodica, metallo/lega che si corrode) e l'altra per il processo catodico (caratteristica catodica, riduzione di ossigeno o sviluppo di idrogeno).

Nel caso molto semplice di un comune acciaio al solo carbonio in soluzione acquosa aerata (il processo catodico è la riduzione di ossigeno), le due curve si presentano come mostrato in figura 48a mentre per un acciaio inossidabile, sempre nella medesima soluzione, si verifica la situazione mostrata in figura 48b⁵¹.

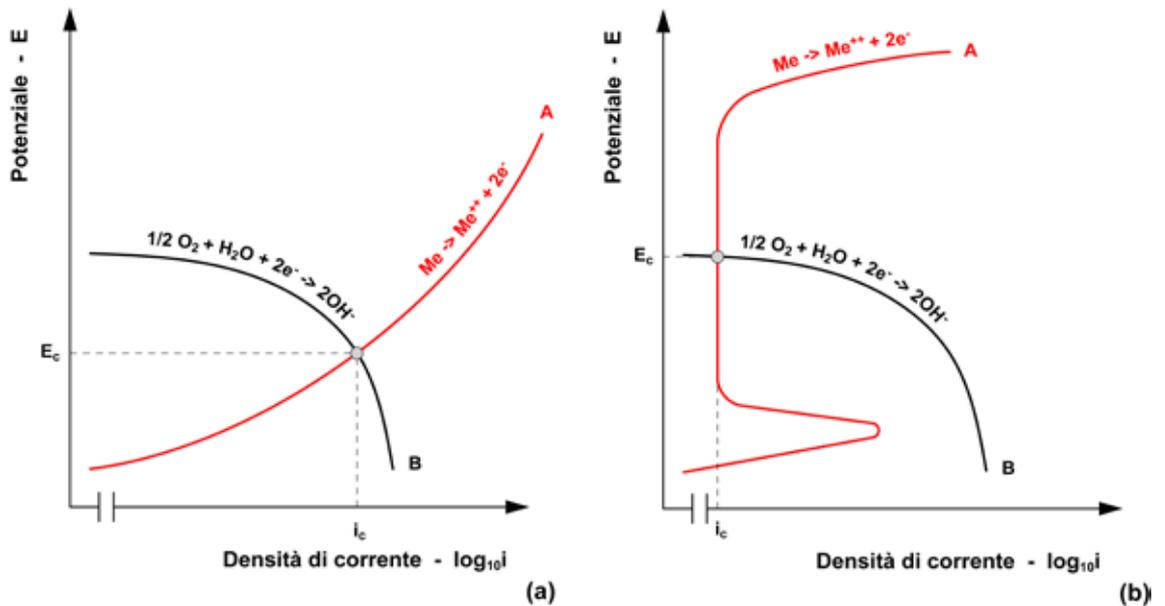


Figura 48 – Curve potenziodinamiche indicative (caratteristica anodica A: materiale – caratteristica catodica B: ambiente) in soluzione acquosa 0,05 M di H_2SO_4 : (a) per un materiale a comportamento attivo e (b) per un materiale a comportamento attivo-passivo.

Il punto d'intersezione delle curve A e B mostrate in figura 48 rappresenta la condizione di equivalenza tra le densità delle correnti circolanti (la velocità delle due reazioni, anodica e catodica, è uguale): esso stabilisce il punto di funzionamento del sistema materiale-ambiente e permette di determinare il potenziale di libera corrosione " E_c " e la densità di corrente circolante " i_c ", nonché di stimare la velocità di corrosione del materiale in quel particolare ambiente ($V_{corr} \propto i_c$).

Nel caso degli acciai al solo carbonio la curva anodica (curva A – figura 48a) è monotona crescente: la corrente cresce al crescere della tensione applicata e con essa cresce quindi la velocità di corrosione. Per

⁵¹ Per poter osservare il tipico andamento attivo passivo degli acciai inossidabili è necessario, in pratica, aggiungere una piccola quantità di una specie acida (in questo caso -4,9 g/l di acido solforico per ottenere una soluzione acquosa 0,05 molare = 0,05M di H_2SO_4).

quanto riguarda invece gli acciai inossidabili (curva A – figura 48b) è osservabile il tipico comportamento attivo-passivo. Si ricordi che le due curve catodiche indicate con B in figura 48 hanno invece il medesimo andamento poiché rappresentano il medesimo ambiente in cui i due materiali sono inseriti.

Il confronto tra queste due condizioni (figura 48a e figura 48b) è significativo e rende ragione del reale comportamento in esercizio dei due differenti materiali: poiché la corrente circolante " i_c " del caso "a" è molto maggiore della corrente circolante " i_c " del caso "b", la velocità di corrosione di un acciaio al solo carbonio, in quel determinato ambiente, sarà molto maggiore rispetto a quella di un generico acciaio inossidabile⁵².

11.4 La corrosione a umido degli acciai inossidabili

Cerchiamo ora di descrivere in modo più approfondito la curva caratteristica degli acciai inossidabili (curva anodica), indicando i parametri significativi che meglio si adattano a classificare il comportamento del materiale: si osservi al proposito la figura 49.

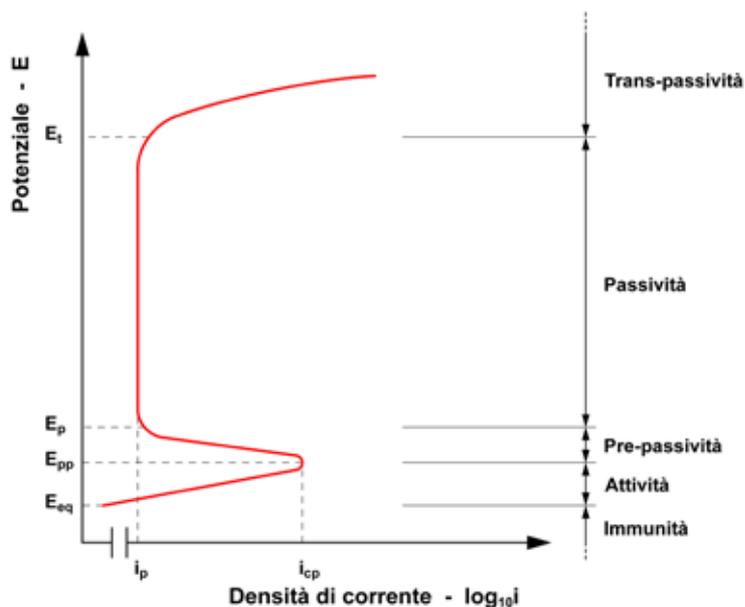


Figura 49 – Schematizzazione della caratteristica anodica di un generico acciaio inossidabile.

Al di sotto del potenziale di equilibrio " E_{eq} " l'acciaio inossidabile è immune da qualsiasi fenomeno corrosivo: esso è termodinamicamente stabile e la reazione di ossidazione non può avvenire.

⁵² Si noti che l'asse delle ascisse riporta la densità di corrente in scala logaritmica con base 10 (non in scala lineare!); ciò significa che una variazione lineare sull'asse, comporterà una variazione di ordini di grandezza della corrente circolante, ossia di ordini di grandezza della velocità di corrosione del materiale.



Successivamente la curva anodica mostra un comportamento attivo (da " E_{eq} ", potenziale d'equilibrio, fino al punto " $E_{pp} - i_{cp}$ ", potenziale di passivazione primaria e densità di corrente critica di passivazione): l'acciaio inossidabile si comporta in questa zona come un comune acciaio al solo carbonio con valori via via crescenti della velocità di corrosione al crescere del potenziale imposto.

A partire dal punto " $E_{pp} - i_{cp}$ " si manifesta il fenomeno della passivazione con la conseguente formazione del film protettivo di ossido di cromo ampiamente descritto nell'iniziale capitolo 1: la caratteristica elettrochimica dell'acciaio inossidabile si modifica radicalmente e, al crescere del potenziale applicato " E ", si osserva una progressiva diminuzione della densità di corrente " i " che si stabilizza attorno al valore " i_p " (densità di corrente di passivazione). In corrispondenza " i_p " la velocità di corrosione è ridottissima e può essere considerata, in pratica, nulla⁵³: questo è il campo in cui si forma e si mantiene stabile la sottilissima pellicola di ossidi/idrossidi di cromo che risulta protettiva per l'acciaio inossidabile.

Il valore di densità di corrente di passivazione " i_p " è costante per un ampio intervallo di potenziale (da " E_p ", potenziale di passivazione, fino ad " E_t ", potenziale di transpassivazione): oltre questo valore l'acciaio inossidabile torna a comportarsi in modo attivo a causa della dissoluzione del film di ossido di cromo. Al superamento del potenziale " E_t " si manifestano forme di corrosione di tipo localizzato, proprio nei punti dove il film passivo è stato aggredito chimicamente dall'ambiente.

L'elevata resistenza alla corrosione degli acciai inossidabili va dunque collegata ai bassi valori di i_p nel campo di passivazione, cioè nell'intervallo " $E_p - E_t$ ": la formazione del film protettivo (passivazione) si manifesta in modo decisivo, giova qui ricordarlo, quando l'ambiente ha caratteristiche ossidanti, come ad esempio in aria o in soluzioni acquose aerate.

Ma come si comporta un acciaio inossidabile in termini di resistenza alla corrosione quando, all'atto pratico, entra in contatto con ambienti chimici aventi caratteristiche particolari?

Per rispondere adeguatamente a questa domanda è necessario valutare l'interazione tra l'ambiente (curva catodica) e l'acciaio inossidabile (curva anodica): si veda la figura 50 che mostra l'effetto di quattro distinti processi catodici (B1, B2, B3 e B4) accoppiati al comportamento anodico di un generico acciaio inossidabile (A). Le curve indicate con B1, B2, B3 e B4 rappresentano quattro differenti ambienti, caratterizzati da potere ossidante via via crescente.

La curva B1 è tipica di un ambiente acido in cui l'ossigeno (o altre specie ossidanti) sono del tutto assenti: l'unico processo che può avvenire al catodo è lo sviluppo di idrogeno. La situazione qui descritta si verificherebbe ad esempio nel caso di un acciaio inossidabile immerso in una soluzione al 50% di acido solforico. In questo caso l'acciaio inossidabile "lavora" nel punto X_1 ed ha comportamento attivo, cioè non può passivarsi: conseguentemente il degrado per corrosione sarà uniforme e generalizzato a tutta la sua superficie.

⁵³ La densità di corrente di passivazione " i_p " degli acciai inossidabili è generalmente molto bassa (10^{-5} - 10^{-7} A/cm²). per questo motivo si può ragionevolmente affermare che, una volta stabilizzata la densità di corrente attorno al valore di passivazione (" i_p "), la velocità di corrosione sia praticamente nulla.



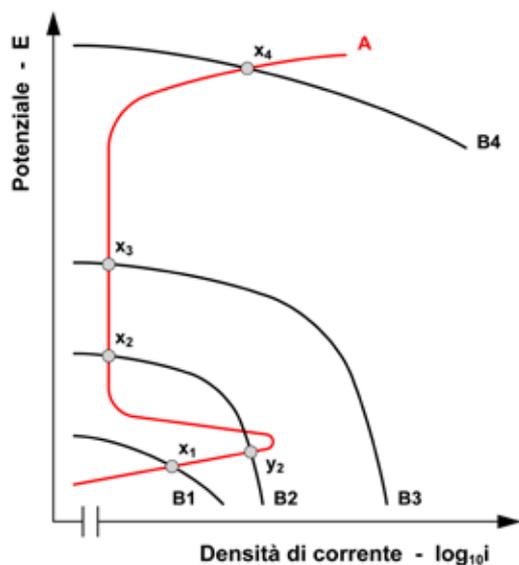


Figura 50 – Caratteristiche catodiche di quattro ambienti a potere ossidante crescente (B1, B2, B3 e B4) e relativi “punti di funzionamento” sulla caratteristica anodica di un generico acciaio inossidabile.

Le curve B2 e B3 rappresentano invece due processi catodici dove si ha riduzione di ossigeno; la differenza è legata alla concentrazione di ossigeno nella soluzione: minore nel caso B2 e maggiore nel caso B3. Questo è quello che si potrebbe verificare in una soluzione acquosa stagnante (curva B2) o agitata (curva B3).

Le due situazioni descritte dai processi catodici B2 e B3 sono molto differenti tra loro. Nel caso della curva B2, i punti di funzionamento del sistema anodico-catodico sono due: X_2 e Y_2 . Se l'acciaio inossidabile è immerso nella soluzione acquosa e si trova già in condizioni di passività⁵⁴, rimarrà in tale stato e conserverà la sua tipica resistenza alla corrosione (punto di funzionamento X_2). Se però il film passivo venisse danneggiato, ad esempio per azione meccanica, l'acciaio inossidabile si rimetterebbe a “funzionare” in modo attivo (punto Y_2), dando origine a fenomeni corrosivi localizzati.

Se si aumenta l'agitazione della soluzione acquosa o, che è lo stesso, se si aumenta la concentrazione di ossigeno nel liquido, la curva catodica si sposterà verso potenziali più elevati a pari densità di corrente (curva B3), dando origine ad un unico punto di funzionamento del sistema anodo-catodo (X_3): in questo caso il film passivo sull'acciaio inossidabile sarà stabile e si riformerà in modo compatto ed aderente qualora dovesse venire danneggiato meccanicamente.

Da ultimo la condizione definita dalla curva B4: essa rappresenta il comportamento catodico di un elettrolita fortemente ossidante, come potrebbe essere una soluzione acquosa contenente cromati. Se l'acciaio inossidabile

⁵⁴ Durante la produzione di componenti in acciaio inossidabile è pratica abituale metterli in esercizio solo dopo aver eseguito un trattamento di decapaggio e passivazione chimica (con soluzioni a base di acido nitrico): tale trattamento ha proprio lo scopo di generare un film passivo stabile ed aderente sulla superficie del materiale.



fosse posto in tale ambiente, il suo film passivo sarebbe instabile: in alcuni punti si osserverebbe il degrado chimico dello strato protettivo di ossidi di cromo con conseguenti attacchi localizzati nella massa metallica.

11.5 La resistenza alla corrosione degli acciai inossidabili

I paragrafi precedenti dovrebbero aver chiarito che la resistenza alla corrosione di un qualsiasi acciaio inossidabile non è una caratteristica assoluta del materiale e della sua composizione chimica ma è sempre dipendente dall'ambiente in cui il materiale è inserito⁵⁵.

Con lo scopo quindi di valutare separatamente questi due aspetti (materiale e ambiente) verranno ora esaminate le modificazioni del comportamento anodico degli acciai inossidabili al variare sia della loro composizione chimica che delle condizioni al contorno, ossia delle soluzioni aggressive con cui sono posti a contatto.

Innanzitutto si tenga ben presente che per migliorare le caratteristiche di resistenza alla corrosione di un acciaio inossidabile (a parità di ambiente) si deve cercare di:

- estendere il campo passivo, ovvero ampliare l'intervallo " E_p-E_t " (in particolare aumentare il valore del potenziale di transpassivazione " E_t ");
- diminuire il valore di " i_{cp} ", densità di corrente critica di passivazione, che rappresenta il livello di densità di corrente da superare per permettere la passivazione dell'acciaio;
- ridurre il valore di " i_p ", densità di corrente di passivazione, che indica la velocità di corrosione dell'acciaio inossidabile quando si trovi in condizioni di passività.

A questo proposito si osservi la figura 51: essa chiarisce il motivo per cui l'acciaio inossidabile, all'interno dell'ampio panorama dei materiali metallici (Fe, Ni, Cr, Mo) è la scelta corretta per ostacolare il degrado per corrosione in ambienti molto aggressivi.

Se si limita l'osservazione alle leghe ferro-cromo-nichel si rileva che il fenomeno della passivazione, in termini elettrochimici, diviene evidente solo all'aumentare del tenore di cromo, in analogia a quanto si è osservato al capitolo 1 parlando della formazione del film protettivo (figura 52).

Quando il cromo è dell'ordine del 11,7% si nota un ampio campo di passivazione (" E_p-E_t ") con valori della densità di corrente circolante dell'ordine di $10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ (penetrazione della corrosione: $100-120 \mu\text{m}/\text{anno}$); al crescere del tenore di cromo il film passivo diviene più stabile, come si rileva sia dalla diminuzione della densità di corrente di passivazione, pari a circa $0,1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ($1-1,2 \mu\text{m}/\text{anno}$), che dall'ulteriore allargamento dell'intervallo " E_p-E_t ".

⁵⁵ Questa affermazione è del tutto generale ed è valida per la totalità dei materiali metallici che subiscono fenomeni corrosivi. La resistenza al degrado di un qualunque materiale è sempre dipendente dalle condizioni al contorno: per comprendere appieno la corrosione non è mai possibile separare il materiale dall'ambiente in cui i fenomeni si sono manifestati.



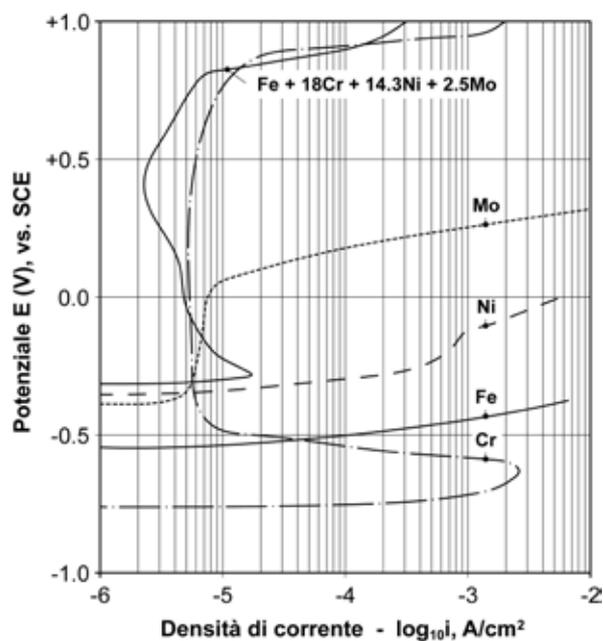


Figura 51 – Curve potenziodinamiche per il cromo, il ferro, il nichel, il molibdeno e un acciaio inossidabile contenente 18% di cromo, 14,3% di nichel e 2,5% di molibdeno, in soluzione acquosa 0,1M di HCl + 0,4M di NaCl a 25°C [tratto da Olefjord et al. 1985].

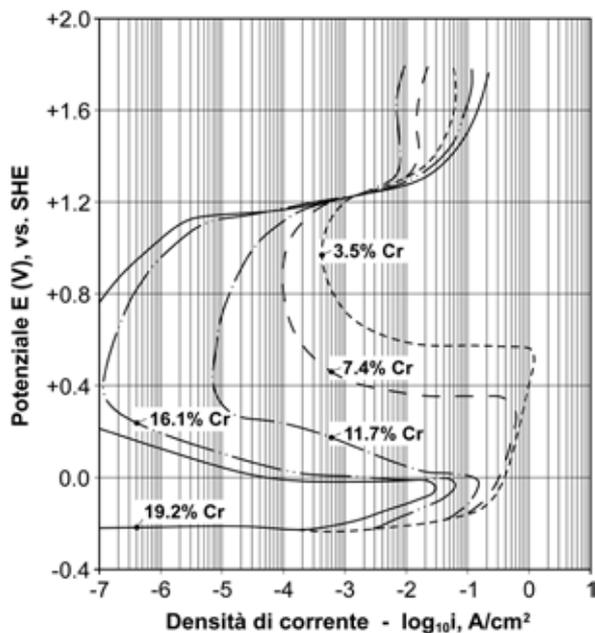


Figura 52 – Effetto del cromo sulle caratteristiche anodiche (curve potenziodinamiche) di leghe ferro-cromo contenenti 8,3-9,6% di nichel; soluzione acquosa 1M H₂SO₄ a 90°C [tratto Osozawa e Engell 1966].



Sempre attraverso l'esame della curva attivo-passiva degli acciai inossidabili è possibile comprendere come i vari elementi di lega influenzino la resistenza alla corrosione degli acciai inossidabili (vedi figura 53).

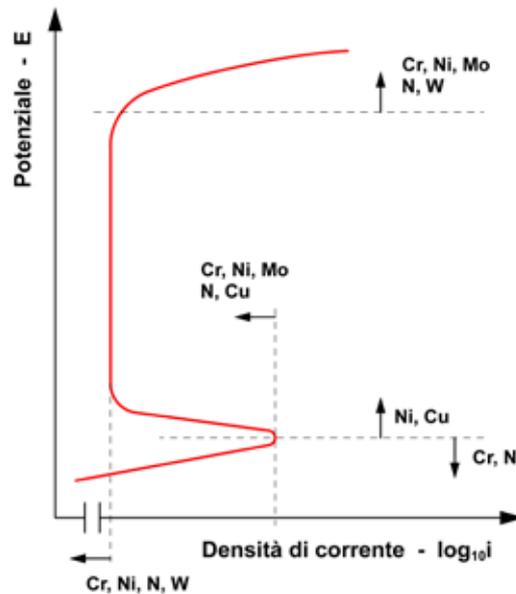


Figura 53 – Andamento schematico della caratteristica attivo-passiva degli acciai inossidabili in funzione dell'aggiunta di vari elementi di lega [tratto da Sedriks 1986].

L'aggiunta di nichel e di molibdeno migliorano sensibilmente la capacità dell'acciaio di passivarsi dopo l'iniziale fase attiva (diminuzione della densità di corrente critica di passivazione " i_{cp} "), estendendo nel contempo il campo dei potenziali in cui il materiale è in condizioni di passività (aumento del potenziale di transpassivazione " E_t ").

Per contro è assai meno evidente l'effetto degli elementi di lega sulla riduzione della densità di corrente di passivazione " i_p ": quando infatti l'acciaio è in queste condizioni (passività) la sua velocità di corrosione, cioè la densità di corrente circolante, è talmente bassa da essere all'atto pratico assai poco influenzata dalla composizione chimica dell'acciaio (vedi figura 54).

In modo del tutto analogo si può valutare quale sia l'effetto dell'ambiente a parità di materiale: si osservi a questo proposito la figura 55 che mostra il comportamento anodico di un acciaio inossidabile tipo X5CrNi18-10 in soluzione acquosa al variare della concentrazione di cloruri. Effetti analoghi, con un conseguente peggioramento del comportamento corrosivistico dell'acciaio, si possono osservare all'aumentare della temperatura e/o al diminuire del pH della soluzione (figura 56).



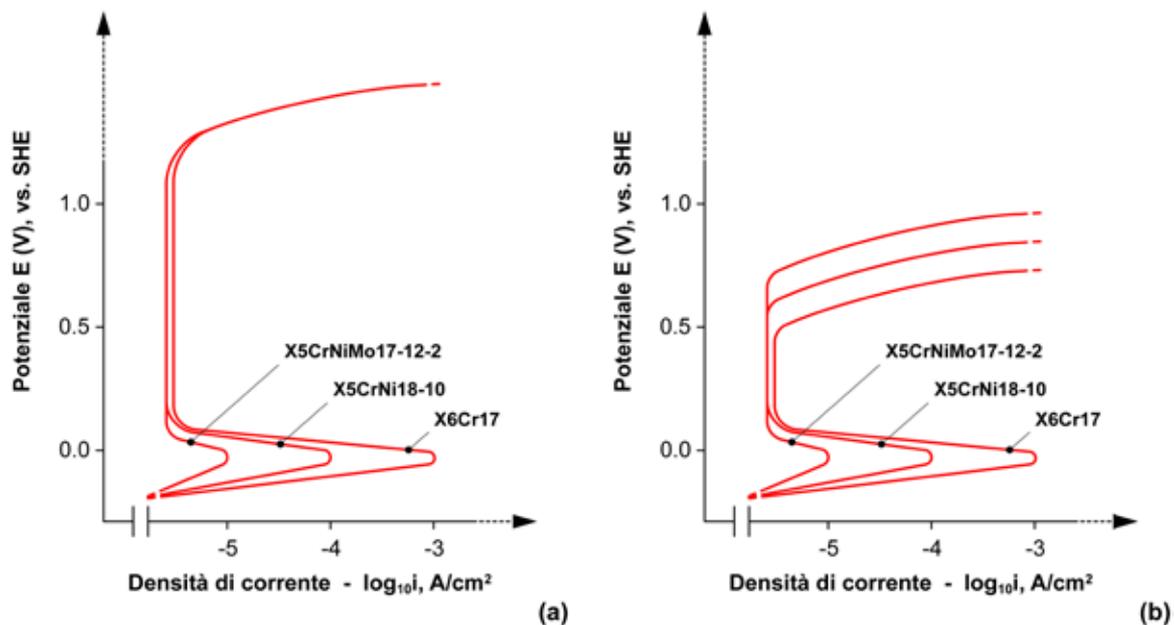


Figura 54 – Curve potenziodinamiche indicative per tre acciai inossidabili in soluzioni acide additivate con cloruri: (a) soluzione 0,05M di acido solforico, (b) soluzione 0,05M di acido solforico e 0,1M di cloruro di sodio. [tratto da Talbot e Talbot 1998].

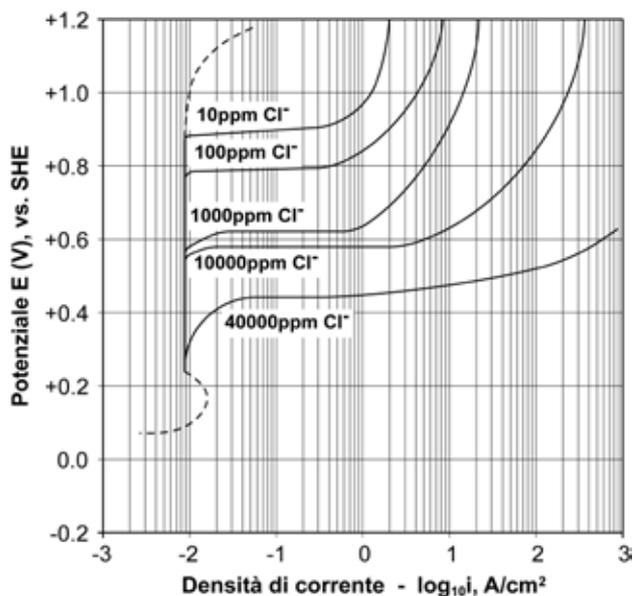


Figura 55 – Curve potenziodinamiche per un acciaio inossidabile tipo X5CrNi18-10 in acqua a 25°C con tenori crescenti di cloruri Cl⁻; la curva tratteggiata indica approssimativamente la posizione del picco di densità di corrente anodica e la zona transpassiva [tratto da Stansbury e Buchanan 2000].



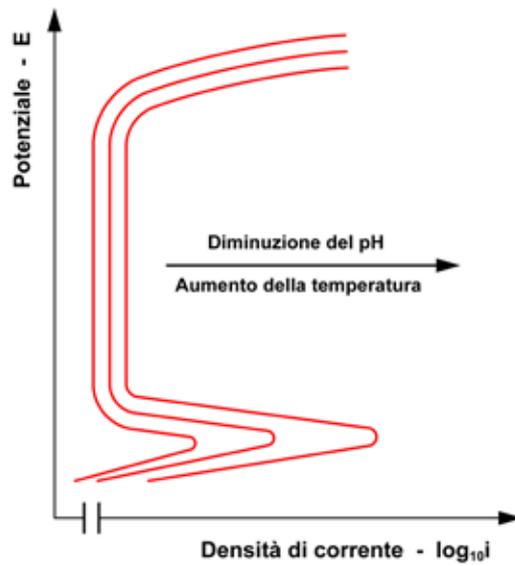


Figura 56 – Andamento schematico della curva attivo-passiva di un generico acciaio inossidabile a causa dell'incremento della temperatura o per effetto dell'acidificazione della soluzione [tratto da Peckner e Bernstein 1977].

12. LA MORFOLOGIA DELLA CORROSIONE DEGLI ACCIAI INOSSIDABILI

12.1 Introduzione⁵⁶

I fenomeni corrosivi possono essere classificati anche in base alla morfologia con cui il degrado si manifesta nei componenti, ossia in relazione all'aspetto dell'aggressione chimica per come appare ad una semplice osservazione visiva o con microscopia a bassi ingrandimenti.

Una prima distinzione può essere fatta tra "corrosione generalizzata o uniforme" e "corrosione localizzata":

- nel primo caso tutta la superficie del materiale risulta soggetta all'attacco corrosivo (generalizzata), con penetrazione del degrado di entità più o meno costante lungo tutta la sezione del componente (uniforme);
- nel secondo caso l'azione aggressiva si esplica solo in alcune zone della superficie (localizzata), con attacchi penetranti, craterizzazioni o cricche.

A questa seconda categoria morfologica appartengono molte tipologie di corrosione: in questa sede verranno prese in considerazione quelle che appaiono più significative nell'ambito degli acciai inossidabili, ossia la corrosione per contatto galvanico, la corrosione per *Pitting* o vaiolatura, la corrosione in fessura o sotto deposito (*Crevice*), la corrosione intergranulare, la corrosione sotto tensione (*Stress Corrosion Cracking*).

12.2 Corrosione uniforme o generalizzata

Questa forma di corrosione interessa tutta la superficie dell'materiale metallico esposto all'ambiente aggressivo, con limitate variazioni locali del grado di penetrazione del danneggiamento lungo lo spessore del componente. Un tipico esempio di corrosione generalizzata e uniforme è rappresentato dal caso dagli acciai inossidabili a contatto con soluzioni acide (soluzioni acquose di acido cloridrico, solforico, fosforico, ossalico, formico, citrico, ecc.).

Dal punto vista elettrochimico la corrosione generalizzata degli acciai inossidabili si manifesta quando il sistema "funziona" nel tratto attivo della curva anodica ovvero nell'intervallo tra il potenziale d'equilibrio " E_{eq} " e il potenziale di passivazione primaria " E_{pp} " (caso B1 di figura 50).

Nei casi di corrosione generalizzata la velocità di corrosione " V_{corr} " può essere comodamente espressa in termini di perdita di massa (Δm) per unità di superficie (A) nel tempo (t), ossia:

$$V_{corr} = \Delta m / A \cdot t$$

misurata abitualmente in mg al giorno (*day*) al dm² ovvero mdd.

⁵⁶ Questo paragrafo e il due successivi riprendono parzialmente l'articolo Boniardi M., Casaroli A., Tagliabue C., Fenomeni di danneggiamento dei materiali metallici dovuti all'esercizio (*Failure Analysis*), in AA.VV., *Le Prove non Distruttive*, Vol. 1, Associazione Italiana di Metallurgia, Milano 2013.



Nelle applicazioni industriali è spesso più interessante parlare di velocità di penetrazione o velocità di assottigliamento “ V_{ass} ” del fenomeno corrosivo. Per passare dalla velocità di corrosione all’assottigliamento è sufficiente introdurre la densità del materiale (ρ), secondo la relazione:

$$V_{\text{ass}} = V_{\text{corr}} / \rho = \Delta m / \rho \cdot A \cdot t$$

L’unità di misura dell’assottigliamento è $\mu\text{m}/\text{anno}$; per l’acciaio inossidabile e per altri metalli e leghe di impiego comune (acciai da costruzione di uso generale, acciai speciali, rame, ottoni, zinco, ecc...) l’equivalenza tra assottigliamento e velocità di corrosione è all’incirca:

$$1 \text{ mdd} \approx 5 \mu\text{m}/\text{anno}$$

Le modalità di intervento che permettono di preservare il componente dalla corrosione generalizzata sono molteplici. Comunemente si è soliti prevedere il cosiddetto “sovrasspessore di corrosione”, ossia uno spessore “in eccesso” sul componente che, durante l’esercizio, verrà progressivamente asportato in modo uniforme per effetto dell’azione corrosiva dell’ambiente.

Per una corretta scelta dell’acciaio inossidabile si fa normalmente riferimento ai cosiddetti diagrammi di isocorrosione. Si tratta di grafici che indicano, al variare dei diversi ambienti, la condizione con velocità di corrosione costante (0,1 mm/anno) per i vari acciai inossidabili. Alcuni tipici esempi sono mostrati in figura 57 e 58.

12.3 Corrosione galvanica

Una prima forma di corrosione localizzata è la corrosione galvanica o corrosione per accoppiamento galvanico⁵⁷. Essa si verifica quando un metallo o una lega metallica è collegata (cioè è in contatto elettrico) con un altro metallo/lega metallica avente maggiore o minore nobiltà termodinamica⁵⁸: se esiste una significativa differenza di potenziale si può sviluppare una reazione di ossidoriduzione con conseguenti fenomeni di corrosione, anche in presenza di un ambiente blandamente aggressivo. Il meccanismo è del tutto simile a quello già mostrato in figura 46.

Ogni metallo o lega metallica ha, infatti, un proprio potenziale che dipende dalla sua natura, dalla sua composizione chimica e dall’ambiente in cui viene posto (temperatura, pH, agitazione, presenza di ossidanti o di altre specie nocive, ecc.).

Qualora la differenza tra i diversi potenziali superi una certa soglia, si crea un significativo passaggio di elettroni tra il donatore (anodo – metallo meno nobile) e il ricettore (catodo – metallo più nobile). L’intensità di questo movimento di elettroni (di fatto una corrente elettrica) sarà tanto maggiore quanto maggiore sarà la differenza di potenziale: come conseguenza la velocità di corrosione sarà tanto più elevata quanto più distanti saranno i due materiali nella scala di nobiltà.

⁵⁷ Questa forma di corrosione è anche chiamata corrosione bimetallica.

⁵⁸ La scala di nobiltà termodinamica (o scala dei potenziali standard) è la scala dei potenziali elettrochimici misurata rispetto all’elettrodo di riferimento di idrogeno ($E_0 = 0,00 \text{ V}$) a 298K e 100kPa di pressione, quando tutte le specie che prendono parte al processo elettrochimico hanno attività unitaria.



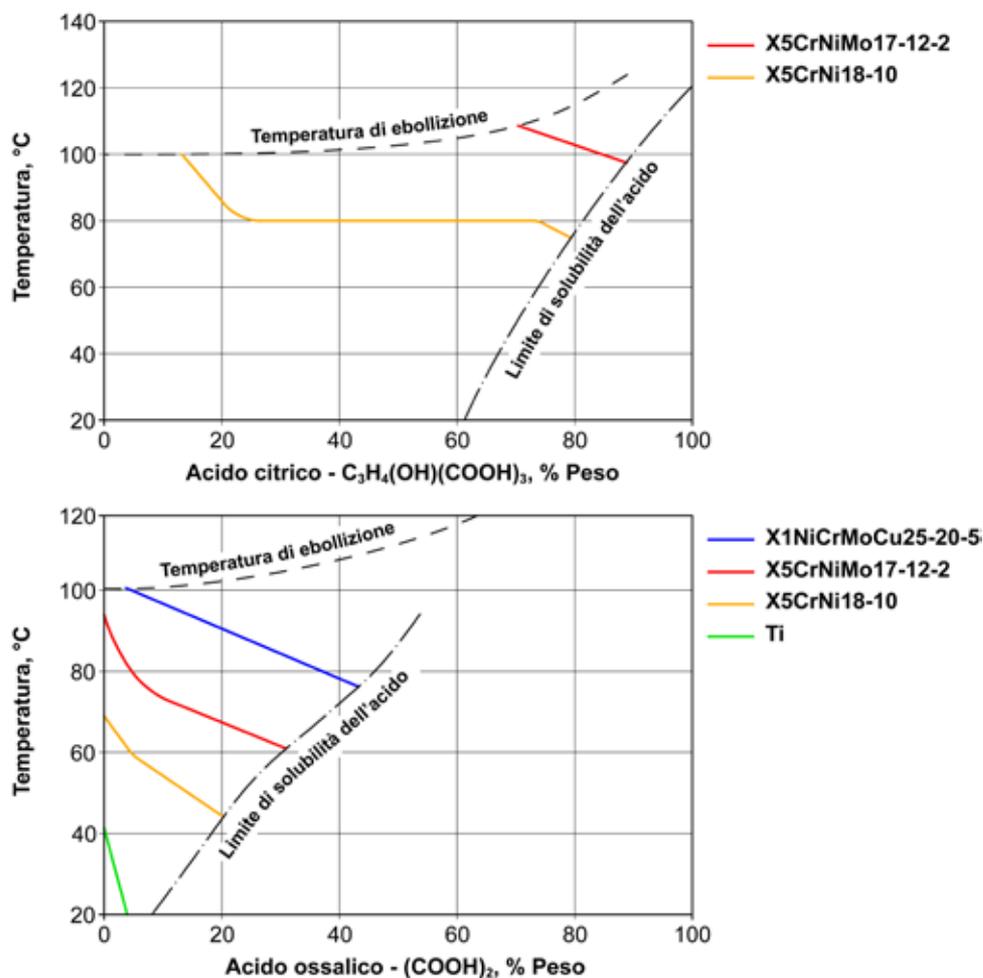


Figura 57 – Curve di isocorrosione (velocità di penetrazione di 0,1 mm/anno) per alcuni acciai inossidabili in (a) acido citrico e (b) acido ossalico; la curva tratteggiata indica la temperatura di ebollizione [tratto da Outokumpu 2009].

Altro aspetto rilevante che governa il fenomeno della corrosione galvanica è il rapporto tra le aree dei due materiali a contatto: la velocità del degrado cresce al crescere del rapporto tra l'area della zona catodica (più nobile) rispetto a quella della zona anodica (meno nobile) esposte all'ambiente.

Per valutare praticamente se le condizioni di contatto galvanico tra due metalli/leghe metalliche possano dar origine a problemi, è meglio NON riferirsi alle scale dei potenziali elettrici standard: questo perché vi è una grande variabilità nel comportamento del medesimo materiale tra un ambiente corrosivo e l'altro (e a volte anche all'interno del medesimo ambiente) e poi perché negli ambienti reali il sistema elettrochimico non è mai, di fatto, in condizioni di equilibrio. Abitualmente pertanto si utilizza la cosiddetta scala di nobiltà pratica in acqua di mare (figura 59) cioè una scala di potenziali misurata in condizioni prossime al reale esercizio.



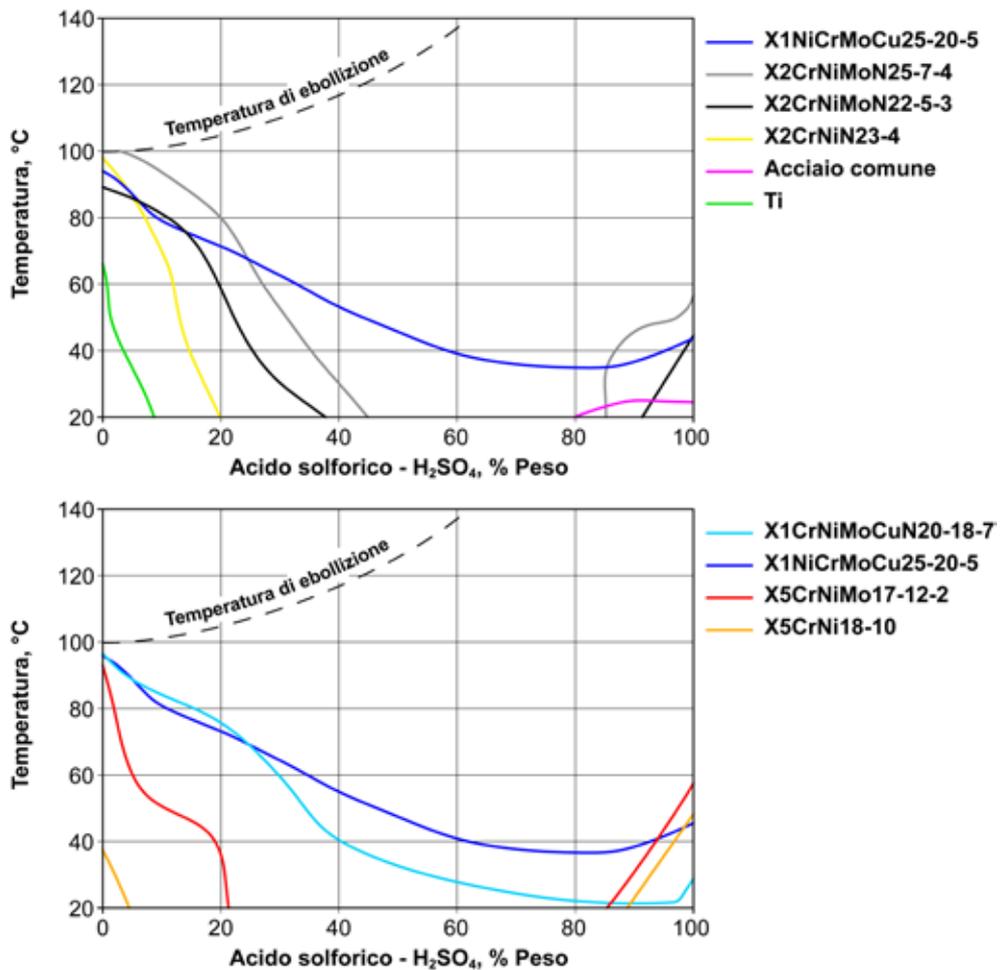


Figura 58 – Curve di isocorrosione (velocità di penetrazione di 0,1 mm/anno) per alcuni acciai inossidabili in acido solforico; la curva tratteggiata indica la temperatura di ebollizione [tratto da Outokumpu 2009].

Un esempio tipico di corrosione galvanica si può manifestare su lamiere in acciaio al solo carbonio (anche zincate) o su lamiere in lega d'alluminio a contatto con elementi di fissaggio in acciaio inossidabile, posti in ambiente marino, in soluzioni acquose aerate o in ambienti blandamente aggressivi (vedi figura 60).

Molto più grave sarebbe la situazione opposta ossia quella di lamiere in acciaio inossidabile fissate con rivetti in acciaio al carbonio o in acciaio zincato: in questo secondo caso, oltre alla differenza di nobiltà tra i due materiali, giocherebbe in modo molto negativo il rapporto tra le aree, totalmente a favore dell'acciaio inossidabile.



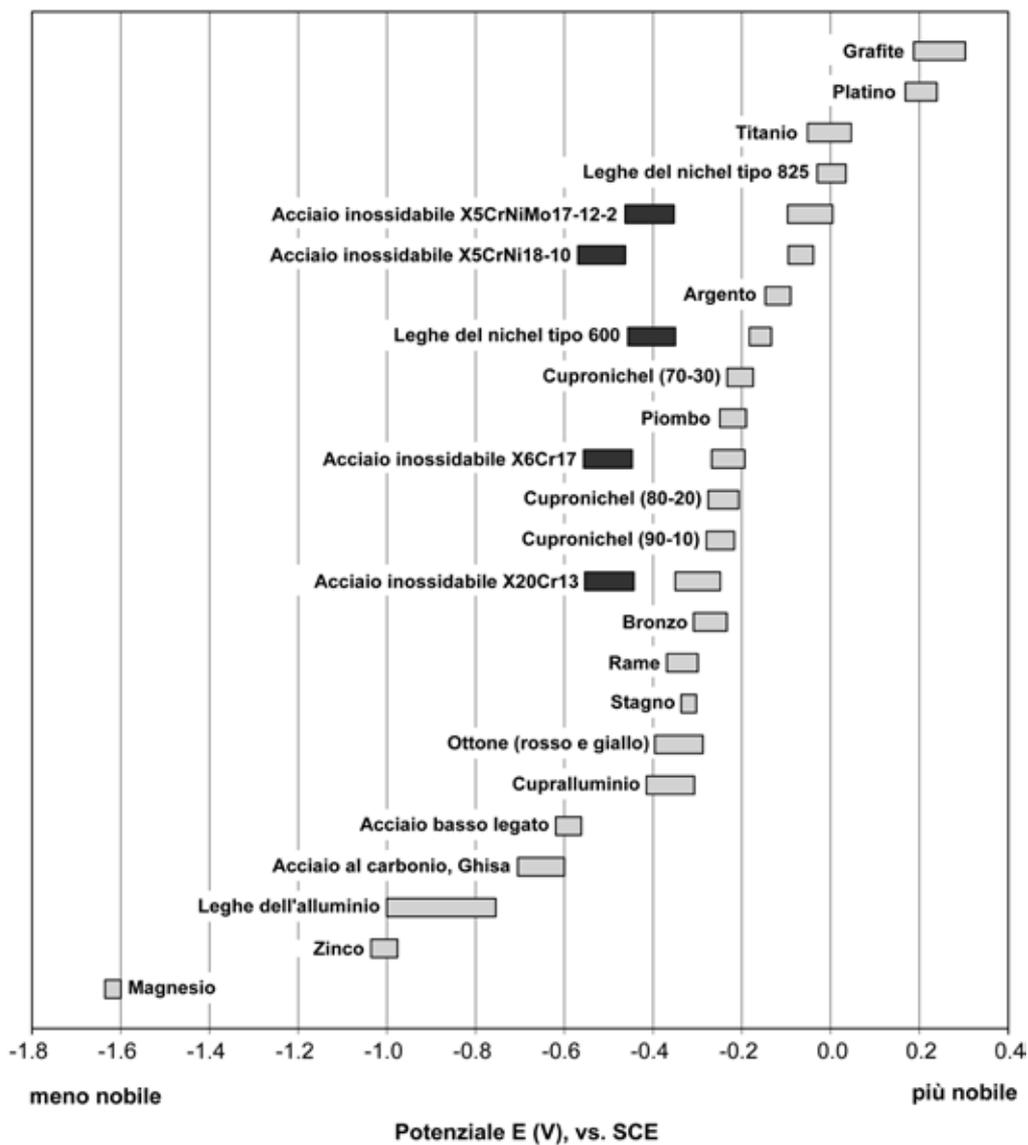


Figura 59 – Scala di nobiltà pratica in acqua di mare [tratto da ASM-H.13 1992].



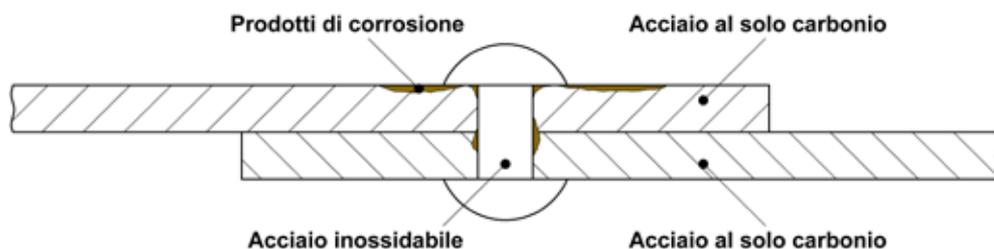


Figura 60 – Corrosione galvanica di una lamiera in acciaio al solo carbonio con elementi di fissaggio in acciaio inossidabile.

La soluzione più corretta per eliminare il fenomeno della corrosione da contatto galvanico è evitare di mettere in "contatto elettrico" (ovvero a contatto diretto, con continuità elettronica) materiali metallici di diversa nobiltà o, qualora impossibile, provvedere ad un isolamento elettrico delle parti (vedi figura 61).

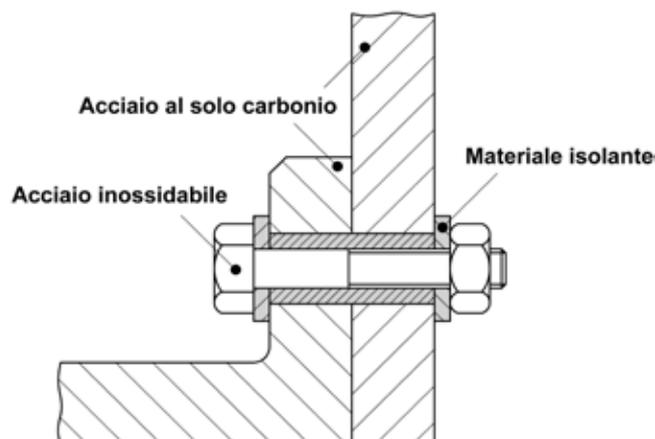


Figura 61 – Isolamento elettrico con un materiale non conduttore tra due lamiere e il relativo bullone di collegamento.

Una particolare forma di corrosione galvanica è la corrosione da contaminazione superficiale.

Il degrado si manifesta quando la superficie dell'acciaio inossidabile viene "sporcata" da particelle estranee, come polveri di materiale ferroso che tipicamente si generano durante le operazioni di smerigliatura e rettifica di acciai comuni.

Le particelle che si depositano sulla superficie possono creare le premesse per attacchi corrosivi localizzati, anche in ambienti non molto aggressivi. Si osservano macchie sulla superficie (di color ruggine nel caso di contaminazione ferrosa, biancastre nel caso di contaminazione da alluminio o da zinco) conseguenza della rapida ossidazione del contaminante (acciaio, alluminio o zinco) e non, come erroneamente si crede, dell'acciaio inossidabile. Nelle situazioni più estreme, la sostanza contaminante può essere causa di danni

anche per l'acciaio inossidabile, in quanto può ostacolare il fenomeno della passivazione, oltre che costituire una zona preferenziale di innesco per altre forme di corrosione.

Per ovviare al problema si deve fare grande attenzione durante tutte le operazioni di lavorazione, taglio e manipolazione dei semilavorati e dei prodotti finiti in acciaio inossidabile. Gli strumenti di lavoro e i metodi di imballaggio (avvolgitori, svolgitori, sistemi di taglio, cesoie, piegatrici, catene, funi, regge, ecc.) devono essere appositamente dedicati al solo contatto con l'acciaio inossidabile; è assolutamente da evitare l'uso di utensili che possano essere stati impiegati nelle lavorazioni di altri materiali.

Qualora vi fosse il sospetto di una contaminazione superficiale è necessario rimuovere le particelle estranee mediante un'operazione di passivazione chimica, utilizzando soluzioni diluite a base di acido nitrico.

12.4 Corrosione per vaiolatura o *Pitting*

Il *Pitting* è un fenomeno di corrosione localizzata tipico degli acciai inossidabili: esso produce gravi danneggiamenti penetranti e pericolose forature nei componenti in esercizio.

Elementi caratteristici del *Pitting* sono la presenza sulla superficie del pezzo di cavità multiple aventi limitata dimensione (da cui deriva il nome di corrosione per vaiolatura o a punta di spillo); normalmente il *Pitting* dà origine a craterizzazioni estese in profondità: si parla in questi casi di caverne, ulcere, crateri, ecc. La dimensione superficiale delle forature è piccola, compresa tra 0,1 e 2 mm; nei fenomeni di *Pitting* l'entità dei prodotti di corrosione è molto limitata. Il maggior problema legato a questa forma di corrosione non è tanto la perdita di massa indotta dal fenomeno di degrado, quanto piuttosto che il danneggiamento penetrante attraverso la sezione resistente del componente. Si pensi, ad esempio, al caso di una cisterna in acciaio inossidabile affetta da fenomeni di *Pitting*: al limite si potrebbe arrivare alla foratura del recipiente, allo sversamento del fluido di processo ed al disservizio dell'impianto.

Il degrado per vaiolatura ha aspetti differenti; in figura 62 sono mostrate alcune morfologie tipiche in sezione, come classificate dalla normativa americana ASTM G46.

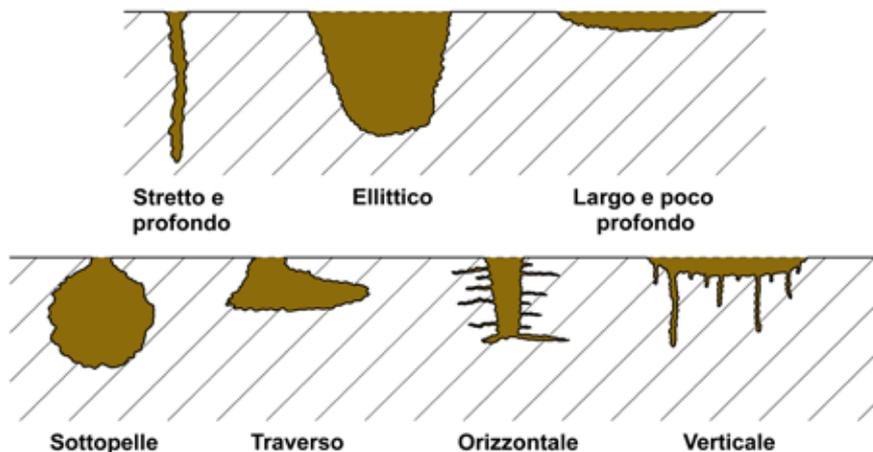


Figura 62 – Tipiche morfologie di degrado per vaiolatura o *Pitting* [tratto da ASTM G46].



Il *Pitting* si manifesta sia su materiali a comportamento attivo, come gli acciai al solo carbonio, sia soprattutto su materiali che si passivano come gli acciai inossidabili⁵⁹. La corrosione è causata da ambienti neutri o ossidanti in grado di aggredire chimicamente il film protettivo presente sulla superficie del materiale.

Il tipico degrado per *Pitting* degli acciai inossidabili avviene in soluzioni acquose contenenti cloruri, come ad esempio in ambiente marino (zone del bagna-asciuga o esposte allo spray marino).

Oltre alla concentrazione dei cloruri⁶⁰, i parametri che influenzano il prodursi del *Pitting* sono legati all'incremento della temperatura, all'acidificazione dell'elettrolita e all'eventuale presenza di altre sostanze aggressive nell'ambiente (come nelle atmosfere industriali o nei fluidi di processo contaminati).

La corrosione per vaiolatura è un fenomeno che, una volta innescatosi, tende ad autoalimentarsi: la cavità del pit richiama progressivamente ioni cloruro per effetto elettroforetico⁶¹ e si verifica un aumento del pH a causa dell'idrolisi acida dell'acqua⁶² (figura 63).

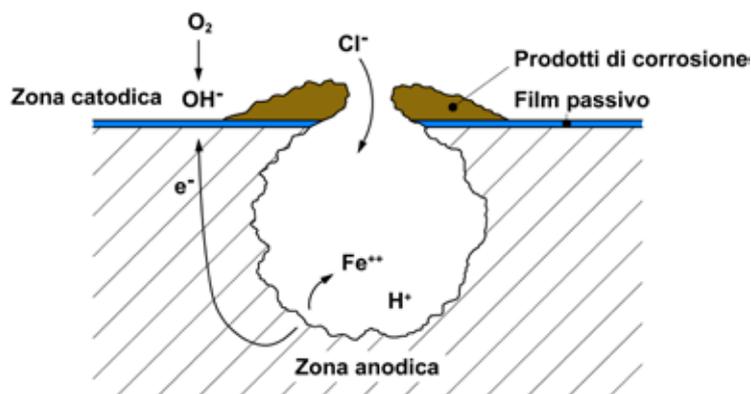


Figura 63 – Schematizzazione del meccanismo di danneggiamento per *Pitting*.

Dal punto di vista elettrochimico il *Pitting* si verifica quando si oltrepassano le condizioni di passivazione nella curva attivo-passiva dell'acciaio inossidabile, cioè quando il potenziale della reazione catodica è maggiore del potenziale di transpassivazione "E_t" della reazione anodica (caso B4 di figura 50). Conseguentemente il potenziale di transpassivazione "E_t", anche chiamato potenziale di *Pitting*, è un ottimo parametro atto a

⁵⁹ La corrosione per *Pitting* è comune anche ad altri materiali che si passivano, come l'alluminio e le sue leghe o il titanio e le sue leghe.

⁶⁰ Nel caso degli acciai inossidabili il *Pitting* si verifica non solo a contatto con soluzioni acquose contaminate da cloruri, ma anche per effetto della presenza di altri alogenuri, come fluoruri (F) e ioduri (I).

⁶¹ L'effetto elettroforetico è un fenomeno di moto di particelle elettricamente cariche (ioni), immerse in un fluido, per effetto di un campo elettrico indotto dalla microcoppia anodo-catodo. Gli ioni si spostano verso il catodo se hanno carica positiva e verso l'anodo se hanno carica negativa. Nel caso del degrado per *Pitting* ciò provoca un richiamo di ioni Cl⁻ verso la zona anodica del cratere di corrosione.

⁶² In presenza di ioni metallici e acqua si può avere idrolisi acida con variazione del pH della soluzione, secondo la reazione:

$$\text{Fe}^{+2} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+$$

classificare, a parità di ambiente, la resistenza alla corrosione per vaiolatura degli acciai inossidabili. Esso inoltre può essere usato anche per valutare i differenti effetti delle condizioni ambientali a parità di acciaio inossidabile: più elevato sarà il potenziale di *Pitting*, più elevata la resistenza del materiale al fenomeno. Si vedano ad esempio le figure 64-66 che mostrano l'andamento del potenziale di *Pitting*, per due acciai inossidabili di comune impiego al variare della temperatura, della concentrazione di cloruri e del pH.

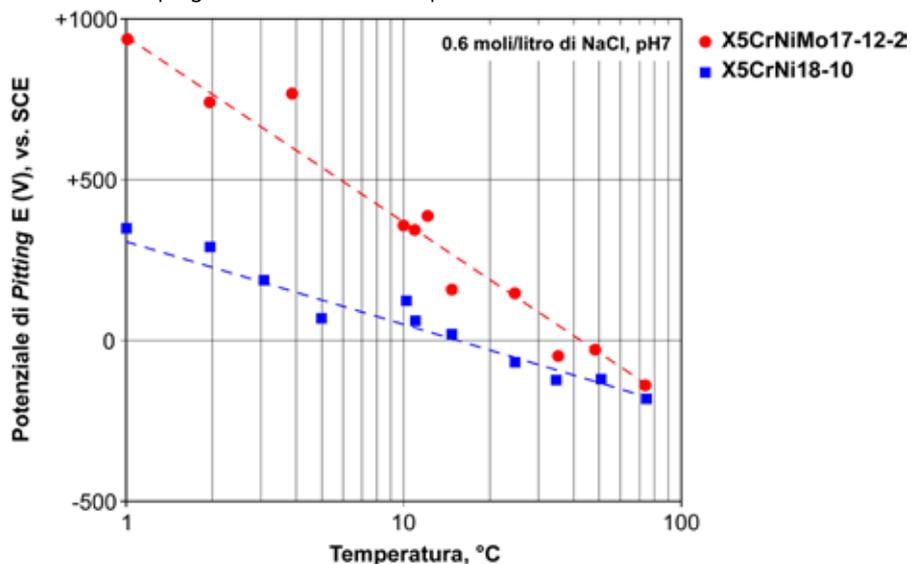


Figura 64 – Andamento del potenziale di *Pitting* in funzione della temperatura della soluzione per gli acciai inossidabili austenitici X5CrNi18-10 e X5CrNi17-12-2; soluzione acquosa 0,6M di NaCl a pH 7 [tratto da Shirer 1994].

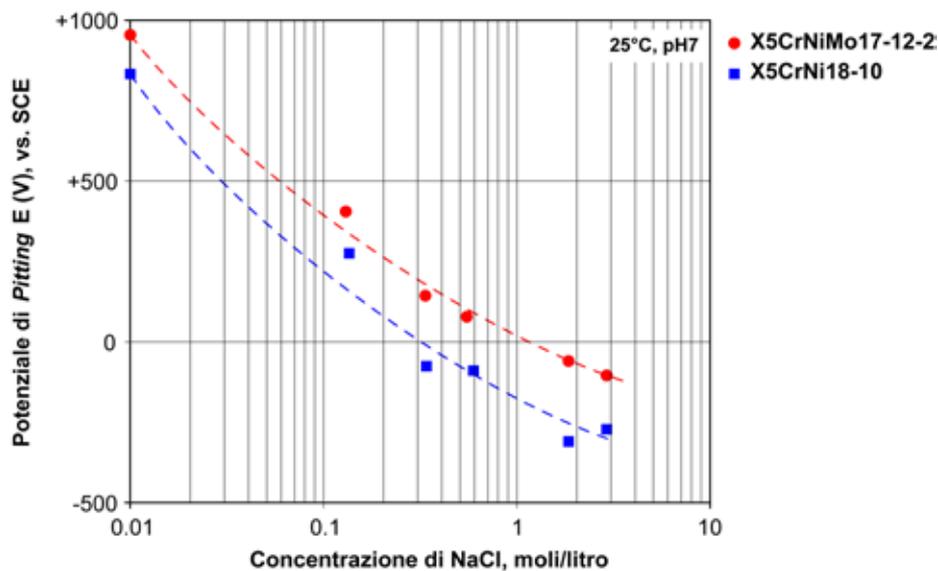


Figura 65 – Andamento del potenziale di *Pitting* in funzione della concentrazione di cloruri in soluzione per gli acciai inossidabili austenitici X5CrNi18-10 e X5CrNi17-12-2; soluzione acquosa con pH 7 a 25°C [tratto da Shirer 1994].



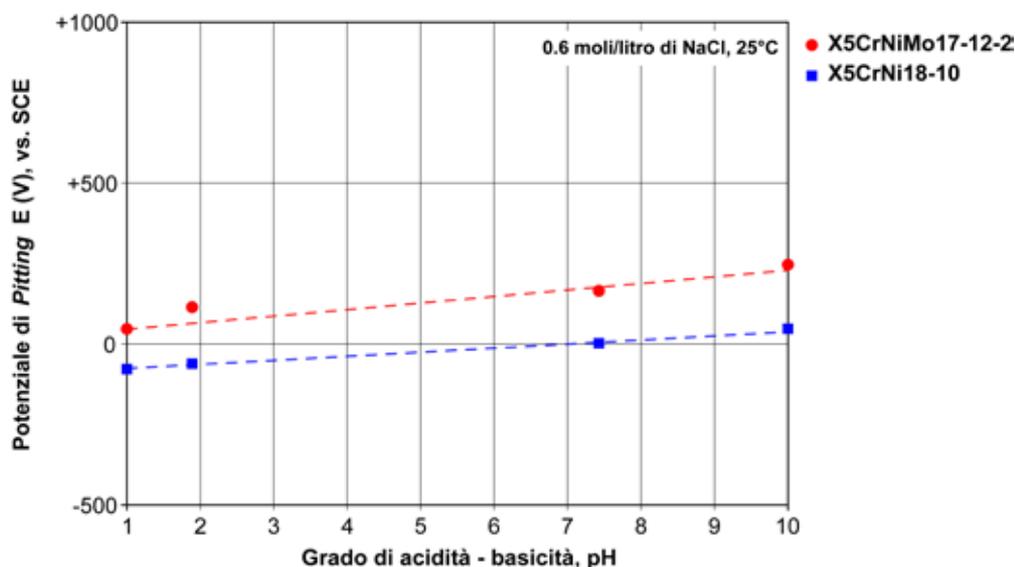


Figura 66 – Andamento del potenziale di *Pitting* in funzione del pH della soluzione per gli acciai inossidabili austenitici X5CrNi18-10 e X5CrNi17-12-2; soluzione acquosa 0,6M di NaCl a 25°C [tratto da Shirer 1994].

Per determinare la resistenza al *Pitting* senza dover ricorrere a prove sperimentali è possibile fare delle valutazioni in base alla composizione chimica degli acciai stessi: è noto infatti che elementi quali il cromo, il molibdeno e l'azoto favoriscono l'ampliamento del campo passivo (innalzano il potenziale di transpassivazione " E_t "). A questo proposito è stato messo a punto sperimentalmente un parametro che ben si adatta a descrivere il fenomeno corrosivo: esso è denominato PREN (*Pitting Resistance Equivalent Number*) ed è direttamente correlato all'analisi chimica del materiale con la formula⁶³:

$$\text{PREN} = \%Cr + 3,3 \cdot \%Mo + 16 \cdot \%N$$

Questo indice dà la possibilità di classificare i vari tipi di acciaio inossidabile nei confronti della resistenza alla corrosione per vaiolatura (figura 67): più elevato il PREN, più elevata la resistenza dell'acciaio al *Pitting*. Oltre al diagramma di figura 67 vale però la pena di osservare anche il grafico di figura 68: esso ci permette di segnalare al lettore la grande variabilità esistente nella correlazione tra PREN e potenziale di *Pitting*, soprattutto per valori del $\text{PREN} > 30$. Pertanto si tenga ben presente che l'indice PREN, seppur di agevole determinazione, consente solo una classificazione qualitativa degli acciai inossidabili; inoltre, giova ribadirlo, il PREN può essere utilizzato limitatamente alla corrosione per *Pitting*.

⁶³ La formula del PREN non è univoca: sono stati proposti diversi coefficienti moltiplicativi, in particolare per il molibdeno e per l'azoto. Nel caso del molibdeno è utilizzabile sia 3 che 3,3; nel caso dell'azoto può essere impiegato un coefficiente pari a 13, 16, 27 o 30. L'equazione qui proposta è la più comune.

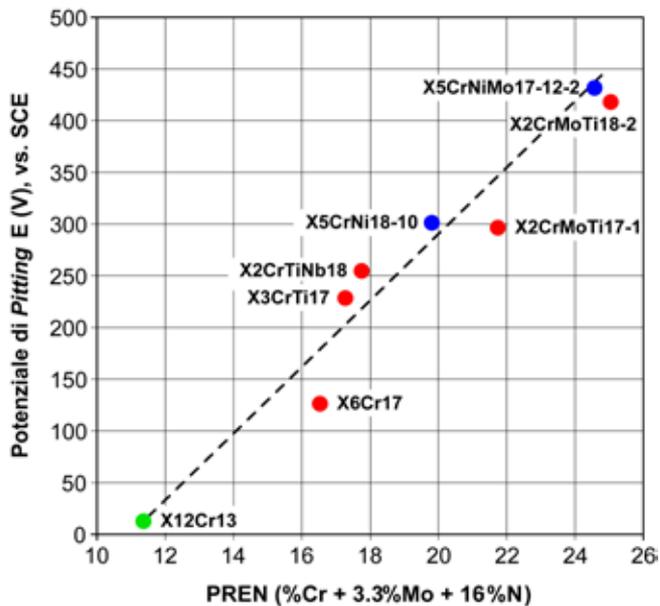


Figura 67 – Andamento del potenziale di *Pitting* in funzione del PREN per alcuni acciai inossidabili, soluzione acquosa 0,5M di NaCl a 50°C con pH 6,6 [tratto da ArcelorMittal 2010].

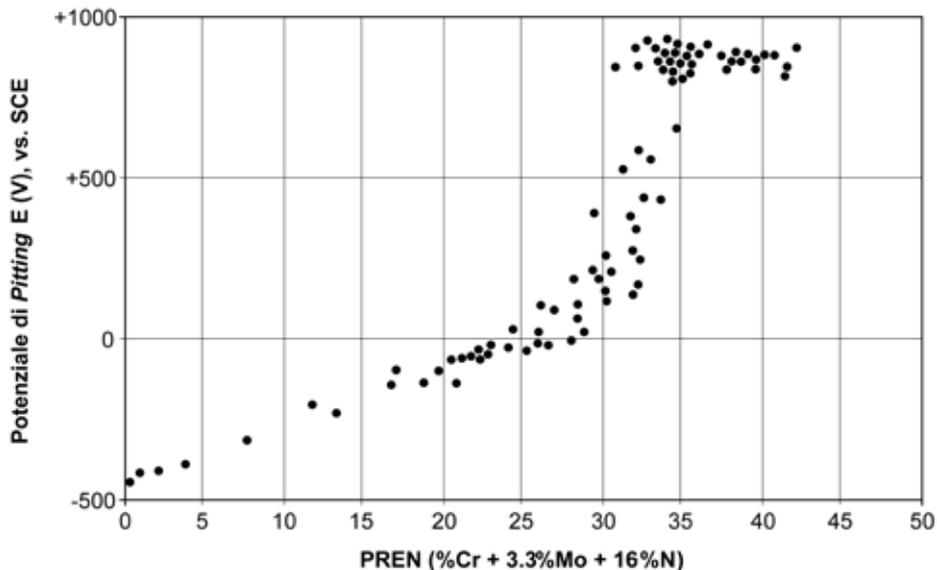


Figura 68 – Andamento del potenziale di *Pitting* in funzione del PREN in soluzione acquosa 0,6M di NaCl a 25°C; leghe base ferro con %Cr=0,021÷28 %Ni=0,22÷20,39 %Mo=0,01÷4,23 %N=0,01÷0,455 %Mn=0,22÷4,53 %Si=0,13÷0,71 [tratto da Shirer 1994].

La tendenza di un acciaio inossidabile a subire fenomeni di *Pitting* può essere valutata anche mediante prove standard di laboratorio. Un tipico esempio è dato dalla norma americana ASTM G48 – 2003 (*Standard*



Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by Use of Ferric Chloride Solution) che permette di classificare i materiali in funzione della temperatura a cui si manifesta la corrosione per vaiolatura.

La prova prevede l'immersione del campione in soluzione acquosa di cloruro ferrico⁶⁴. Innalzando progressivamente la temperatura si può ricavare sperimentalmente la soglia a cui si manifesta il *Pitting*: tale soglia, chiamata *Critical Pitting Temperature (CPT)*, può essere usata come indice della resistenza alla corrosione del materiale (vedi figura 69).

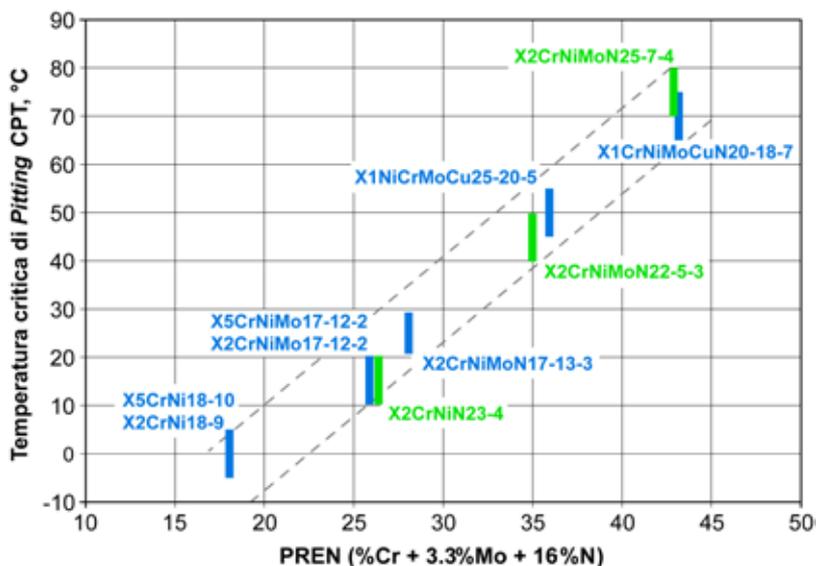


Figura 69 – Andamento della temperatura critica di *Pitting* secondo ASTM G48 in funzione del PREN per alcuni acciai inossidabili austenitici e austeno-ferritici.

Come è tipico per tutte le morfologie da attacco localizzato, anche il *Pitting* è un fenomeno che deve essere prevenuto piuttosto che ostacolato: a questo proposito è opportuno scegliere con attenzione il materiale da utilizzare in relazione all'ambiente ed alle sue condizioni al contorno (temperatura, pH, agenti nocivi, concentrazione di cloruri, agitazione-stagnazione, ecc.).

12.5 Corrosione in fessura o *Crevice*

La corrosione per *Crevice* (o corrosione in fessura) è un'altra forma di aggressione localizzata assai comune negli acciai inossidabili: essa si manifesta in presenza di interstizi, fessure, incrostazioni, depositi e discontinuità geometriche in cui l'elettrolita (generalmente l'acqua) è in condizioni di ristagno rispetto all'ambiente circostante.

⁶⁴ Il cloruro ferrico, $FeCl_3$, è il sale di ferro (III) dell'acido cloridrico: è un composto solubile in acqua (con solubilità pari a 920 g/l a 20°C), molto corrosivo per acciai comuni e speciali.



Un tipico caso di degrado per *Crevice* ha origine in corrispondenza delle guarnizioni di tubazioni flangiate o nelle zone di contatto tra lamiere imbullonate o rivettate (figura 70). Situazioni analoghe si possono manifestare nelle lamiere saldate per punti sulle carrozzerie delle auto, nelle giunzioni saldate ad arco dove vi è incompleta penetrazione, tra i trefoli delle funi metalliche, al di sotto di film lubrificanti quali grafite o bisolfuro di molibdeno, su superfici nastrate con teflon o polietilene.

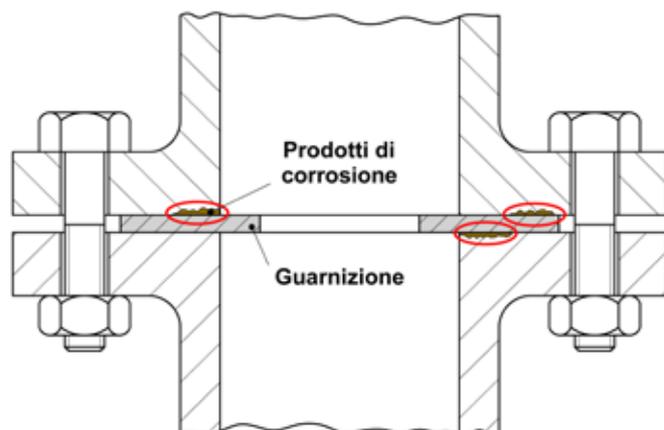


Figura 70 – Schematizzazione di una soluzione costruttiva che potrebbe dar origine a corrosione in fessura.

La presenza della discontinuità geometrica crea una macrocoppia per aerazione differenziale tra l'interstizio, ossia la zona anodica ove la diffusione d'ossigeno è limitata, e la massa metallica circostante che rappresenta la zona catodica in cui è assicurata la saturazione di ossigeno (figura 71). È opportuno notare che negli interstizi si verificano le medesime criticità che si hanno all'interno di un Pit per corrosione: progressivo consumo di ossigeno, accumulo di ioni metallici positivi, richiamo di ioni cloruro per effetto elettroforetico e idrolisi acida con diminuzione del pH (si confronti al proposito la figura 71 con la figura 63).

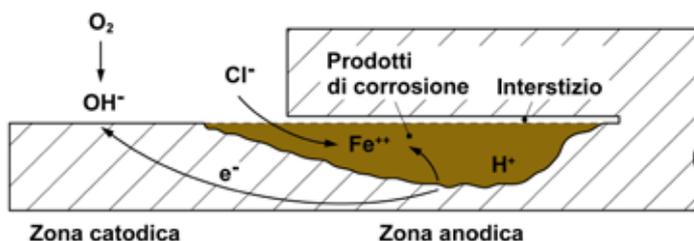


Figura 71 – Schematizzazione del fenomeno di corrosione per *Crevice*.

L'analogia tra i due meccanismi di degrado comporta un'identica classificazione degli acciai inossidabili nei confronti del *Pitting* e del *Crevice*. Quanto migliore è il comportamento del materiale alla corrosione per vaiolatura, tanto migliore sarà anche la sua risposta nei confronti della corrosione in fessura: pertanto



il PREN può essere un valido aiuto per la corretta scelta dell'acciaio inossidabile anche per il caso della corrosione in fessura.

Vale però la pena di segnalare come, a parità di materiali impiegati e di condizioni ambientali imposte, sia molto più agevole l'innesco di fenomeni corrosivi per *Crevice* piuttosto che per *Pitting*. Mentre per avere *Pitting* la cavità si deve formare per effetto dell'aggressione chimica dell'ambiente, nel caso del *Crevice* la "cavità" è già fisicamente presente nel componente a causa della discontinuità geometrica: il *Crevice* è dunque assai più critico del *Pitting*!

Un altro importante parametro che governa il degrado è la dimensione dell'interstizio in cui il liquido può ristagnare: al di sopra di una certa soglia l'elettrolita potrà fluire liberamente senza creare problemi, mentre al di sotto sarà favorita l'azione di stagnazione e l'innesco del *Crevice* (vedi figura 72).

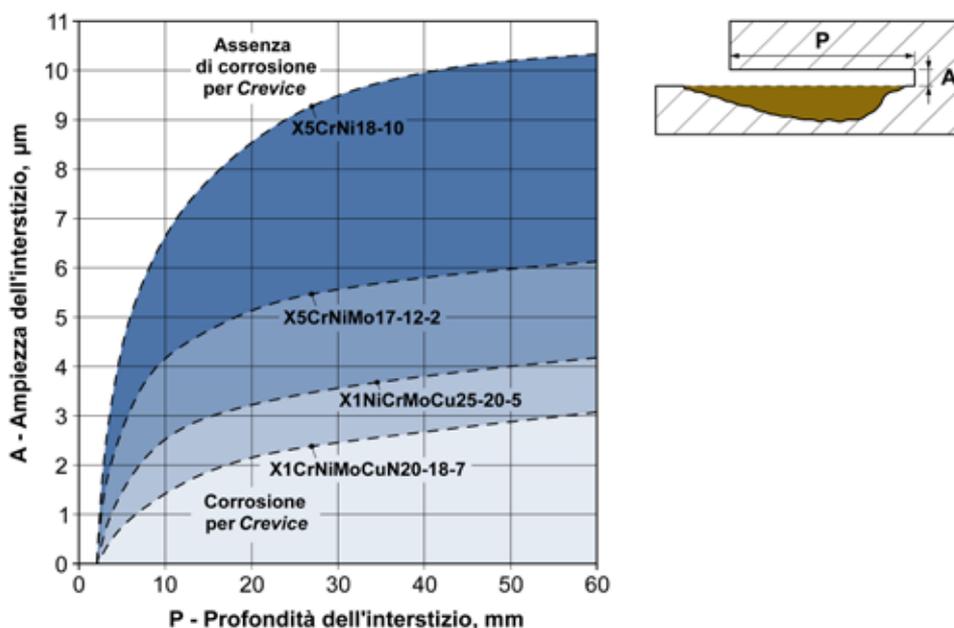


Figura 72 – Caratteristiche geometriche degli interstizi che possono dar origine a *Crevice* in relazione al tipo di acciaio inossidabile impiegato [tratto da Sedriks 1996].

Come ben si può cogliere dall'insieme delle precedenti osservazioni, grande attenzione deve essere posta alla progettazione del sistema, onde evitare interstizi, fessure, incrostazioni o, più in generale, la presenza di possibili punti di aggressione preferenziale dell'acciaio inossidabile.

Una particolare forma di corrosione in fessura è la corrosione sotto deposito. Il degrado si manifesta in presenza di accumuli e/o depositi di calcare (come nelle tubazioni domestiche attraversate da acqua ricca di calcare): in prossimità del deposito e al di sotto di esso si instaurano delle "celle occluse" con formazione di macrocoppie anodiche-catodiche e fenomeni di degrado caratterizzati da meccanismi analoghi a quelli della corrosione interstiziale (vedi figura 73).



Figura 73 – Schematizzazione di un fenomeno di corrosione sotto deposito in una tubazione.

12.6 Corrosione intergranulare

La corrosione intergranulare o corrosione intercristallina è una forma di degrado ambientale associata ad una discontinuità di composizione chimica della microstruttura del materiale: essa è sintomo della formazione di un reticolo continuo di carburi o di fasi intermetalliche, ricche prevalentemente in cromo o cromo/molibdeno, in prossimità del bordo grano dell'acciaio inossidabile (si riveda a questo proposito la figura 10).

Si tratta di un meccanismo di corrosione localizzata, indicato come "sensibilizzazione", che si manifesta su molte famiglie di acciai inossidabili anche in ambienti blandamente aggressivi; alcuni autori preferiscono classificarlo come corrosione selettiva poiché l'aggressione è preferenziale ed avviene lungo i bordi del grano cristallino.

La causa del degrado è l'impoverimento locale di cromo o cromo/molibdeno in corrispondenza dei bordi grano: nel pezzo la corrosione si sviluppa sotto forma di cricche singole o ramificate che "seguono" proprio i bordi di grano ove si è avuta la precipitazione dei carburi.

Di questo problema se ne è parlato diffusamente sia nel capitolo 3 (paragrafo 3.4) sia nei vari capitoli riguardanti le singole famiglie degli acciai inossidabili: ad essi si rimanda il lettore per ulteriori approfondimenti. Nel seguito vengono riprese alcune considerazioni già segnalate in precedenza; l'elencazione è fatta a partire dalle famiglie di acciai inossidabili più utilizzate industrialmente.

Nel caso degli acciai inossidabili austenitici la sensibilizzazione, cioè la precipitazione dei carburi, si verifica per un'esposizione prolungata del materiale nell'intervallo critico compreso tra 450°C e 900°C. Tre fattori spiegano il motivo per cui l'impoverimento di cromo avviene in modo così deleterio a bordo grano:

- il carbonio può "vincolare" una quantità di cromo, sotto forma di carburi, pari a circa 16 volte la sua quantità in peso (carburi di tipo $Cr_{23}C_6$);
- il carbonio diffonde nell'austenite molto più velocemente del cromo e quindi "cattura" una quantità di cromo molto grande; il cromo invece ha una diffusività molto minore del carbonio e quindi l'impoverimento di cromo avviene solo in prossimità del bordo grano;
- i carburi precipitano preferenzialmente a bordo grano, zona a minor densità atomica ove la nucleazione dei precipitati è agevolata.



Gli acciai inossidabili austenitici con tenori di carbonio maggiori dello 0,03% sono a rischio di corrosione intercristallina se esposti nell'intervallo critico di temperature. Questo può avvenire, ad esempio, durante il trattamento termico del semilavorato, per effetto di inappropriate temperature d'esercizio, o a motivo delle operazioni di saldatura. In quest'ultimo caso il fenomeno si manifesta tipicamente nelle zone adiacenti il cordone di saldatura (zona termicamente alterata), dove più prolungato è il tempo di permanenza nell'intervallo critico di precipitazione (vedi figura 74).

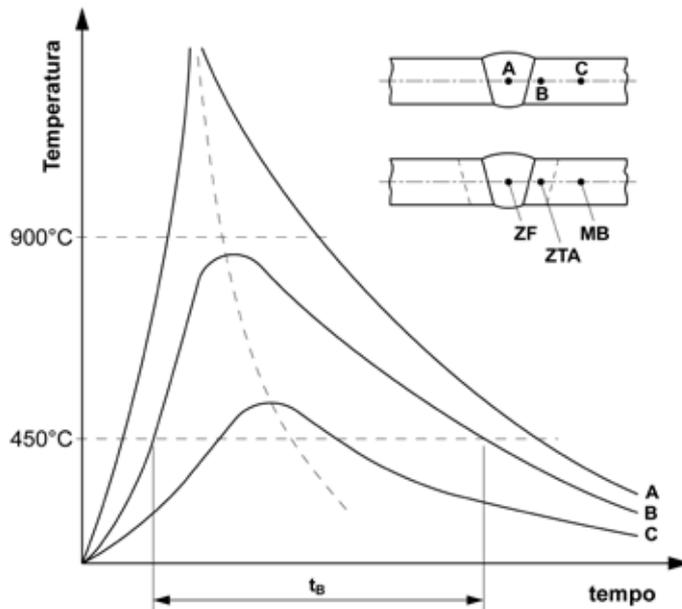


Figura 74 – Andamento della temperatura in funzione del tempo in una giunzione saldata: ZF: zona fusa (A); ZTA: zona termicamente alterata (B); MB: metallo base (C). La zona ove può avvenire la corrosione intergranulare è la B perché più esposta all'intervallo critico rispetto alla A ed alla C.

Dal punto di vista elettrochimico l'effetto della precipitazione dei carburi si manifesta come un aumento delle densità di corrente circolante a parità di potenziale applicato (figura 75): conseguentemente, in relazione all'ambiente e al grado di sensibilizzazione dell'acciaio, si potranno avere differenti criticità.

Per ovviare al problema, come già segnalato nel capitolo 8, si può ridurre il tenore di carbonio a valori inferiori allo 0,03% (acciai inossidabili austenitici a basso carbonio o *Low Carbon*) o si possono aggiungere elementi stabilizzanti per il cromo, quali il titanio o il niobio (acciai inossidabili austenitici stabilizzati). In alternativa si può prevedere, se possibile, un trattamento di solubilizzazione a 1050°C, seguito da un rapido raffreddamento in acqua.

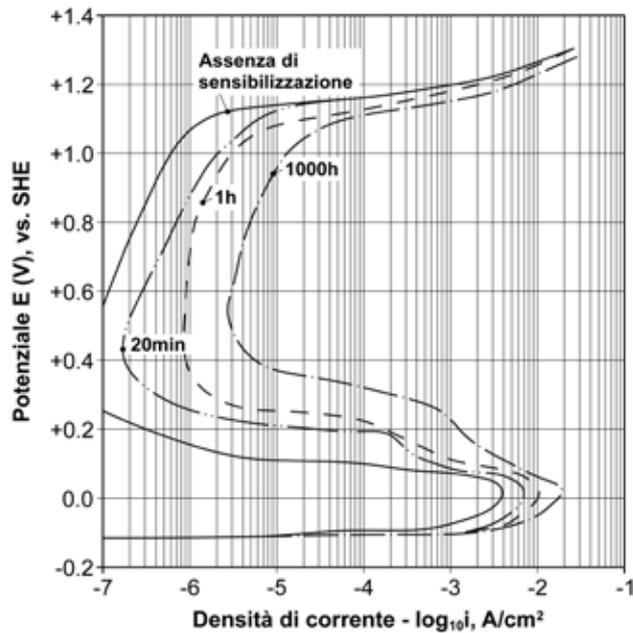


Figura 75 – Andamento delle curve potenziodinamiche di un acciaio inossidabile tipo X5CrNi18-10 allo stato solubilizzato e dopo sensibilizzazione a 650°C per tempi differenti; soluzione acquosa 1M di H_2SO_4 a 90°C [tratto da Osozawa et al. 1966].

Anche nel caso degli acciai inossidabili ferritici si possono avere problemi di sensibilizzazione dovuti alla formazione di carburi: le temperature critiche sono più basse di quelle degli acciai inossidabili austenitici e la precipitazione avviene in tempi brevissimi (vedi figura 76). Per alleviare il fenomeno è necessario prevedere la ricottura del semilavorato a temperature dell'ordine di 800°C durante le quali il cromo diffonde nuovamente verso le zone impoverite; in alternativa è possibile, come nel caso degli acciai inossidabili austenitici, stabilizzare il materiale con titanio o niobio in fase di colata. La soluzione di ridurre il tenore di carbonio a livelli molto bassi non è praticabile, essendo limitatissima la solubilità del carbonio nel reticolo cubico a corpo centrato della ferrite.

Da ultimi gli acciai inossidabili bifasici: questi materiali hanno maggiore resistenza alla corrosione intergranulare sia rispetto alla famiglia degli acciai inossidabili austenitici sia di quella dei ferritici.

La minore sensibilità a questo problema dipende dal fatto che, negli acciai *Duplex*, i carburi di cromo si formano all'interfaccia tra i grani di austenite e quelli di ferrite. Poiché la velocità di diffusione del cromo nella ferrite è 100-150 volte maggiore rispetto a quanto avviene nell'austenite, i carburi si arricchiranno preferenzialmente a spese del cromo presente nella ferrite: benché ciò provochi un impoverimento di cromo, il fenomeno avverrà però a lungo raggio non provocando una sensibile riduzione di cromo in prossimità dell'interfaccia γ/α (caso analogo a quanto mostrato in figura 10a).



Il problema degli acciai inossidabili bifasici è semmai legato alla formazione delle fasi ricche in cromo o cromo e molibdeno (fasi σ , χ e Laves) o alla presenza dell'infragilimento a 475°C, come mostrato precedentemente in figura 41.

Per questa famiglia di acciai inossidabili non è prevista la stabilizzazione per cui, in caso di formazione di fasi indesiderate (come durante la saldatura di grosse sezioni), è sempre opportuno effettuare un trattamento di solubilizzazione seguito da raffreddamento in acqua.

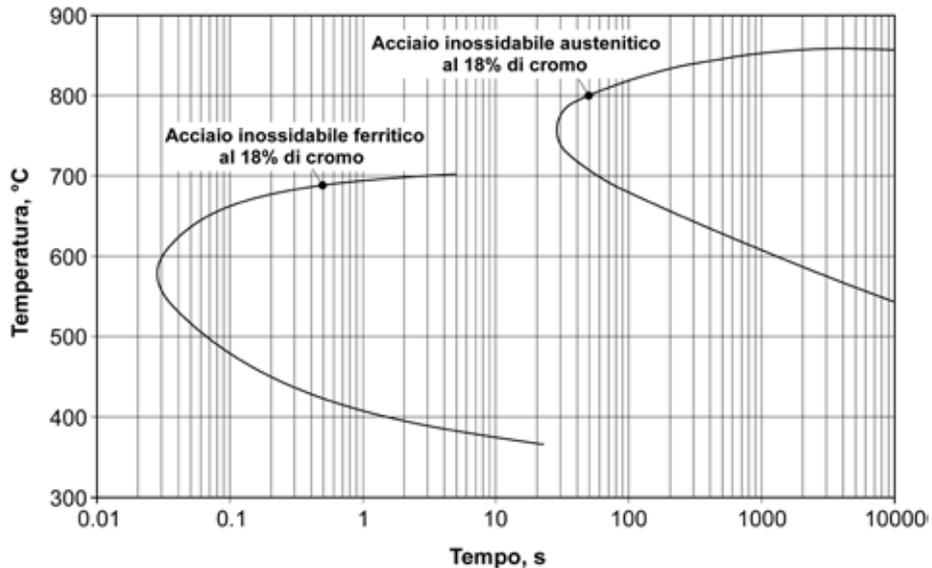


Figura 76 – Andamento schematico delle curve di sensibilizzazione per acciai inossidabili ferritici e per acciai inossidabili austenitici aventi il medesimo tenore di cromo [tratto da Cowan e Tedmon 1973].

12.7 Corrosione sotto tensione o *Stress Corrosion Cracking* (SCC)

La corrosione sotto tensione è un'ulteriore forma di danneggiamento localizzato, molto pericolosa perché si verifica in ambienti non particolarmente aggressivi per gli acciai inossidabili: ha generalmente tempi di incubazione e propagazione molto brevi (da 3 a 12 mesi) e spesso comporta il disservizio del componente o dell'impianto poiché si ha contezza del problema solo quando il fenomeno è conclamato⁶⁵.

Si ha corrosione sotto tensione solamente se sono rispettate contemporaneamente tre condizioni:

- un acciaio inossidabile con specifica composizione chimica,
- uno specifico ambiente corrosivo,
- una sollecitazione meccanica di trazione maggiore di una specifica soglia⁶⁶.

⁶⁵ Questo problema è comune a molte famiglie di materiali: si pensi ad esempio che le leghe del rame subiscono SCC in ambienti ammoniacali, le leghe dell'alluminio in presenza di soluzioni acquose con cloruri, gli acciai ad alta resistenza in acqua distillata.

⁶⁶ Gli sforzi di trazione possono derivare sia dall'azione di forze esterne agenti sul componente, sia dalla presenza di tensioni residue indotte da precedenti lavorazione del materiale (stampaggio a freddo, trafilatura, imbutitura, piega, saldatura, ecc.).



È l'azione combinata delle tre condizioni ad essere critica: normalmente la sollecitazione meccanica e l'ambiente corrosivo, se considerati singolarmente, non danno origine né a problemi di natura meccanica né a corrosione.

Inoltre, affinché si possa sviluppare il degrado, è necessario che la temperatura sia maggiore della temperatura ambiente: le più comuni forme di corrosione sotto tensione degli acciai inossidabili si hanno solo per temperature maggiori di 45°-50°C.

La tensocorrosione provoca la formazione di cricche semplici o ramificate; la propagazione delle cricche può essere sia intergranulare (segue cioè il bordo dei grani) che transgranulare (attraversa indistintamente i grani): talvolta la propagazione può essere mista.

Abitualmente non si osservano prodotti di corrosione tant'è che in alcuni casi le cricche vengono erroneamente ricondotte a problematiche di natura esclusivamente meccanica.

Una possibile schematizzazione di quanto descritto è mostrata in Figura 77.

In tutte le casistiche di degrado che verranno di seguito descritte la prevenzione dalla corrosione sotto tensione viene attuata cambiando il materiale a contatto con l'ambiente critico. Un'ulteriore soluzione, valida solo in particolari condizioni, è quella di ridurre le tensioni meccaniche applicate al componente, sia aumentando le sezioni resistenti (con conseguente riduzione degli sforzi nominali), sia eliminando le auto tensioni mediante opportuni trattamenti termici (distensioni)⁶⁷.

Non tutti gli acciai inossidabili manifestano *Stress Corrosion Cracking* in qualsiasi ambiente corrosivo: in pratica esistono solo alcune coppie "materiale – ambiente" che sono critiche per questa forma di degrado. Il caso più comune di SCC è quello degli acciai inossidabili austenitici in acqua di mare o in soluzione clorurate (anche con concentrazioni di Cl⁻ molto basse⁶⁸). Tipici componenti che vanno soggetti a questa forma di degrado sono gli scambiatori di calore acqua mare.

In ambienti ricchi di cloruri le cricche da tensocorrosione degli acciai inossidabili austenitici sono generalmente di natura transgranulare e l'innesco è molto spesso associato alla presenza di pit superficiali. Il fenomeno è favorito al crescere della temperatura, della concentrazione di cloruri e dell'ossigeno disciolto in soluzione. La soglia critica della sollecitazione è dell'ordine di 70-90 MPa, ossia un terzo della sollecitazione unitaria di snervamento nello stato solubilizzato; oltre questo valore la situazione peggiora e il tempo a rottura si riduce progressivamente al crescere del carico applicato.

La corrosione sotto tensione degli acciai inossidabili austenitici in ambienti clorurati è dipendente dalla presenza del nichel in lega: si è osservato come le condizioni più critiche si verifichino proprio per tenori di nichel attorno all'8-10%, ossia le tipiche percentuali presenti negli acciai inossidabili più usati (vedi figura 78).

⁶⁷ Sempre nell'ottica di agire sulle sollecitazioni meccaniche applicate al componente è anche possibile pensare di effettuare dei trattamenti meccanici come la pallinatura che, inducendo sforzi residui di compressione nel materiale, hanno un effetto benefico nei confronti della tensocorrosione.

⁶⁸ Alcuni autori indicano in 10ppm di Cl⁻ la concentrazione critica da non superare per evitare problemi di tensocorrosione.



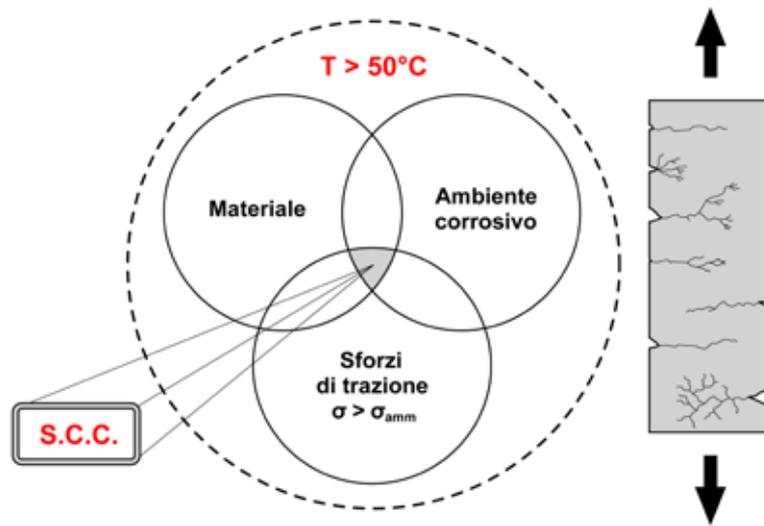


Figura 77 – Schematizzazione del fenomeno di corrosione sotto tensione o *Stress Corrosion Cracking*.

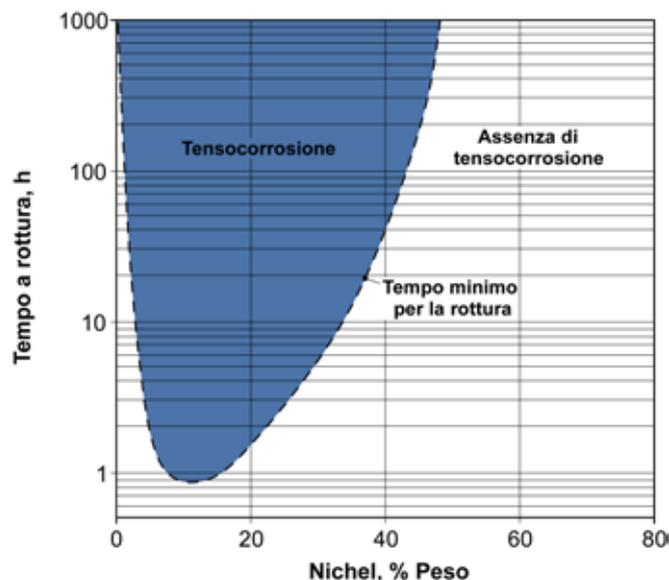


Figura 78 – Corrosione sotto tensione di fili in acciaio inossidabile al 18-20% di cromo, con tenori variabili di nichel, in soluzione acquosa al 42% di cloruro di magnesio a 154°C [tratto da Copson 1956].

Qualora il nichel sia maggiore del 40% o del tutto assente, l'acciaio sarà molto meno sensibile alla tensocorrosione: questo è il motivo per cui le super-leghe base nichel o i comuni acciai inossidabili ferritici, in cui il nichel è assente, sono praticamente insensibili al problema⁶⁹.

⁶⁹ La SCC in ambienti clorurati può comparire anche sugli acciai inossidabili ferritici qualora nel materiale si sia avuta precipitazione di carburi e/o di fasi infragilenti, come ad esempio si può verificare nelle giunzioni saldate.

Gli acciai inossidabili bifasici sono un'altra valida alternativa in acqua di mare agli acciai inossidabili austenitici: ciò dipende dall'elevata resistenza alla tensocorrosione della fase ferritica, presente nella loro microstruttura per circa il 50% (figura 79).

Da ultimo segnaliamo una casistica anomala di SCC che si verifica a temperature molto più basse rispetto a quelle di soglia. Il problema, manifestatosi in modo eclatante a partire dalla metà degli anni '80 del secolo scorso all'interno di piscine coperte, ha luogo attorno a 30°C su tiranti per controsoffittature o su elementi di sostegno: in questo ambiente l'elevata umidità e l'alta concentrazione di cloruri e di altre specie nocive aggravano il degrado e favoriscono l'insorgenza del fenomeno.

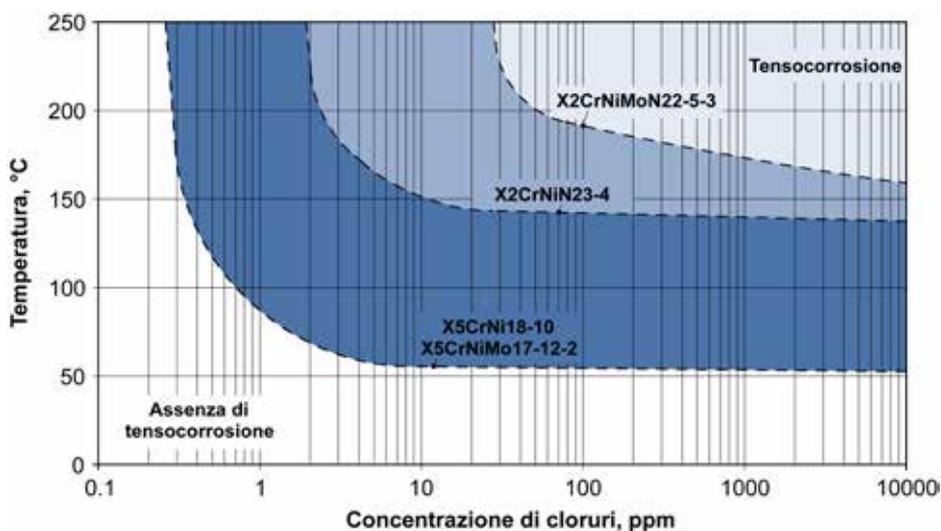


Figura 79 – Effetto della temperatura e della concentrazione dei cloruri in soluzione sulla resistenza alla corrosione sotto tensione di alcuni acciai inossidabili austenitici ed austeno-ferritici [tratto da Sedriks 1996].

Critiche per gli acciai inossidabili sono anche le soluzioni caustiche (soluzioni ricche di idrossido di sodio o di potassio): in questi ambienti può manifestarsi *Stress Corrosion Cracking* ma anche, val la pena segnalarlo, *Pitting* o corrosione generalizzata.

Il fenomeno è tipico degli acciai inossidabili austenitici e si verifica a temperature dell'ordine di 80°-100°C, sia in soluzioni aerate che deaerate per varie concentrazioni di NaOH (vedi figura 80). Nella tensocorrosione caustica la frattura può essere transgranulare, intergranulare o mista.

Il comportamento in esercizio subisce un discreto miglioramento all'aumentare del tenore di nichel o impiegando acciai inossidabili austeno-ferritici: in entrambi i casi, comunque, non è possibile garantire la completa immunità dal fenomeno.



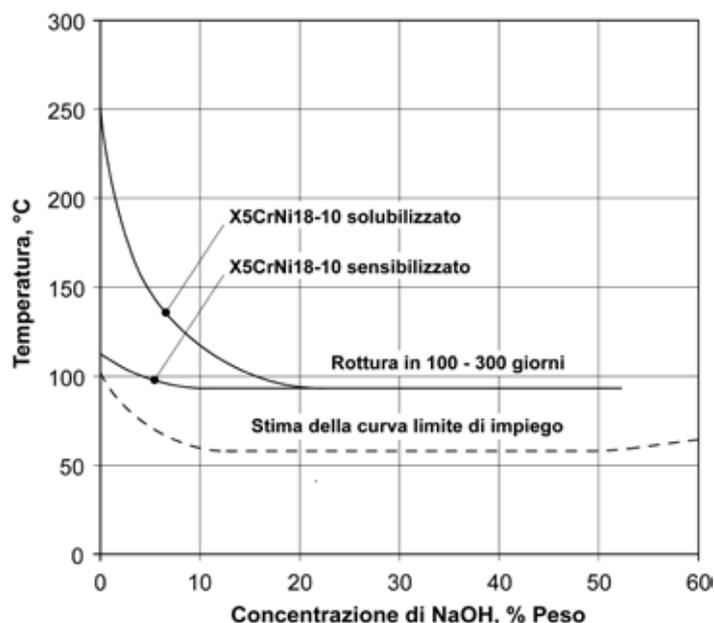


Figura 80 – Effetto della temperatura e della concentrazione di idrossido di sodio (NaOH) in soluzione sulla resistenza alla corrosione sotto tensione dell'acciaio inossidabile austenitico X5CrNi18-10 [tratto da Lacombe 1993].

Un'ultima combinazione che dà origine a corrosione sotto tensione è relativa ad acciai inossidabili a struttura austenitica, *Duplex* o martensitica, a contatto con acido solfidrico (H_2S).

Questa forma di corrosione è nota con il nome di SSCC (*Sulphide Stress Corrosion Cracking*) ma è, a tutti gli effetti, un fenomeno di infragilimento da idrogeno⁷⁰: la sua conoscenza è di grande importanza nel settore dell'estrazione e della raffinazione dei prodotti petroliferi e del gas naturale.

L'infragilimento da idrogeno si produce a causa della reazione tra l'acido solfidrico e il ferro: si formano solfuri e idrogeno atomico (H^+) che può agevolmente penetrare nel reticolo dell'acciaio, inducendo fenomeni di fragilità intergranulare.

Le specie chimiche che favoriscono l'insorgenza della SSCC sono, oltre all'acido solfidrico, gli ioni cloruro e la presenza di ioni H^+ in soluzione (come avviene negli ambienti acidi); le temperature più critiche sono collocate nell'intervallo 60°-100°C.

⁷⁰ L'idrogeno allo stato atomico (come ione H^+) è un atomo di piccolissime dimensioni che, sotto opportune condizioni di temperatura e pressione, diffonde nel reticolo cristallino rendendo l'acciaio particolarmente fragile.



Nel caso degli acciai inossidabili austenitici, martensitici o PH-martensitici il degrado è anche dipendente dalla resistenza meccanica del materiale: secondo le normative NACE MR0175 / ISO 15156⁷¹, affinché l'acciaio sia adeguato per questi impieghi, è necessario prescrivere una soglia di durezza massima di 22 HRC. Per ovviare al problema è spesso preferibile utilizzare acciai inossidabili bifasici, acciai inossidabili super-austenitici o leghe base nichel.

⁷¹ Si tratta delle normative internazionali NACE MR0175 / ISO15156 dal titolo *Petroleum and Natural Gas Industries – Materials for use in H₂S-containing Environments in Oil and Gas Production*.



13.LA CORROSIONE A CALDO DEGLI ACCIAI INOSSIDABILI

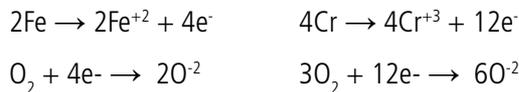
La corrosione a caldo è un fenomeno di degrado che si verifica quando gli acciai inossidabili sono soggetti ad aggressione chimica da parte di gas caldi, come nel caso di componenti operanti ad elevata temperatura a contatto con aria, ossigeno, anidride carbonica, vapore surriscaldato. Forme di degrado con morfologie similari si manifestano in presenza di atmosfere riducenti, carburanti, nitruranti o solforose, con bagni di sali o metalli fusi (NaCl, KCl, Na₂SO₄, KCN, zinco, alluminio, metalli bassofondenti, ecc.). Poiché le temperature a cui avvengono tutti i suddetti fenomeni sono molto superiori alla temperatura ambiente (T>300°C), si parla in questi casi di corrosione a secco o corrosione a caldo.

Tipici componenti che vanno soggetti a queste forme di danneggiamento sono le palette di turbina o di compressore, le camere di combustione, i reattori chimici e nucleari, le caldaie, i tubi di scarico degli auto/motoveicoli, le colonne di distillazione dei prodotti petroliferi, le attrezzature per forni industriali o per impianti siderurgici.

Il degrado che si manifesta ad alta temperatura deriva dall'interazione tra il gas e la lega metallica e può essere spiegato come somma di una reazione di ossidazione abbinata ad una reazione di riduzione, in perfetta analogia con quanto avviene per la corrosione a umido.

Consideriamo per semplicità il fenomeno dell'ossidazione a caldo di un acciaio inossidabile, ossia ciò che avviene quando una generica lega ferro-cromo è posta in contatto con un ambiente ricco di ossigeno: ad esempio una camera di un forno industriale da trattamento termico operante in aria ad alta temperatura.

Le specie chimiche che si ossidano sono il ferro e il cromo mentre l'ossigeno è la specie che si riduce. Si ha in questo caso specifico:



da cui:



Le reazioni indicate rappresentano un processo di ossido-riduzione in cui il degrado avviene prevalentemente all'interfaccia tra metallo ed ossido, essendo gli ossidi di ferro e gli ossidi di cromo permeabili alla penetrazione dell'ossigeno (seppur con modalità differenti). Una possibile schematizzazione del fenomeno di ossidazione a caldo è descritta in figura 81.

Per comprendere il comportamento di un generico materiale metallico a contatto con un'atmosfera ossidante è necessario sapere se l'ossido che si formerà sulla superficie del componente sarà fragile, poroso e scarsamente protettivo oppure aderente e compatto.

Nel primo caso il degrado procederà velocemente poiché la massa metallica è continuamente esposta all'attacco. Nel secondo caso, invece, si creerà una barriera che impedirà all'ossigeno, o alle altre specie nocive, di entrare a contatto con il substrato; conseguentemente si ridurrà drasticamente il danneggiamento del componente in esercizio.



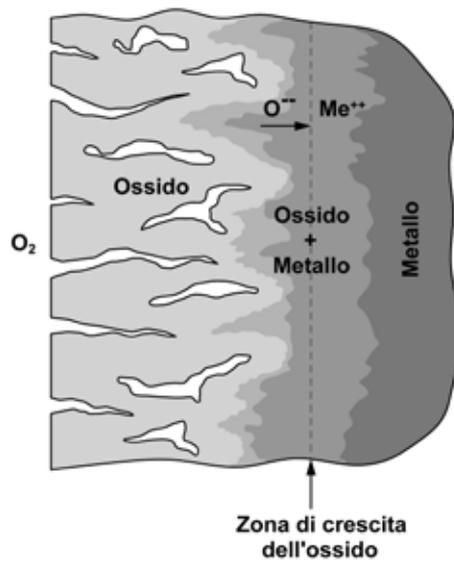


Figura 81 – Schematizzazione del fenomeno di ossidazione sulla superficie di un acciaio inossidabile in contatto con un gas caldo di natura ossidante.

Questo è esattamente quanto avviene nelle leghe di impiego industriale.

Negli acciai comuni – cioè in assenza di elementi di lega – si formerà esclusivamente ossido di ferro. L'ossido di ferro (FeO), a temperature maggiori di $570^\circ C$, è poroso e tende a frammentarsi, staccandosi dalla superficie del componente: in tali condizioni l'ossidazione a caldo non sarà ostacolata ed il fenomeno di degrado continuerà in modo pressoché indisturbato.

Negli acciai inossidabili, invece, la presenza di elevate percentuali di cromo garantisce la formazione di un ossido stabile e ben aderente alla superficie, almeno fino a $900^\circ C$: al crescere del tenore di cromo in lega, aumenterà anche la stabilità dell'ossido e con essa la resistenza alla corrosione a caldo del componente.

Esistono anche altri elementi chimici che potrebbero essere aggiunti alla composizione dell'acciaio inossidabile per migliorarne il comportamento a caldo: si tratta del silicio, che genera ossidi protettivi e stabili fino a $1200^\circ C$ (SiO_2), o dell'alluminio, che forma ossidi compatti fino a $1300^\circ C$ (Al_2O_3).

Sempre in relazione agli acciai inossidabili vale anche la pena evidenziare ciò che avviene quando in lega siano presenti molibdeno e nichel.

Il molibdeno, come il cromo, migliora la resistenza all'ossidazione a caldo dell'acciaio inossidabile poiché forma un ossido stabile e aderente alla superficie (MoO_3): tuttavia si tenga ben presente che, alla temperatura di $795^\circ C$, quest'ossido diviene liquido e possono verificarsi fenomeni di corrosione catastrofica.

Il nichel è invece un elemento chimico sempre benefico nei confronti della corrosione a caldo: ciò non dipende tanto dalla possibilità di formare ossidi stabili e protettivi, quanto piuttosto dal fatto che il nichel è poco affine per l'ossigeno, ossia ha una scarsissima attitudine alla formazione di ossidi. Inoltre la presenza di nichel favorisce l'adesione degli ossidi di cromo alla superficie dell'acciaio.



Si tenga inoltre in debita considerazione il fatto che la resistenza alla corrosione a caldo degli acciai inossidabili non dipende soltanto dalla loro composizione chimica. Altri fattori influenzano in modo significativo il degrado: la temperatura dei gas caldi, la composizione chimica dell'atmosfera, la presenza di vapore acqueo, nonché il "regime di funzionamento" del componente stesso, ossia se esso "lavora" in condizioni stabili di temperatura (regime stazionario) o di oscillazione termica (regime ciclico)⁷².

Un'indicazione delle massime temperature d'esercizio per i più comuni acciai inossidabili, sia in regime stazionario che ciclico, è riportata in tabella 20.

		Temperatura massima d'esercizio °C	
Designazione EN	Acciai inossidabili	Regime ciclico	Regime stazionario
X5CrNi18-10 (1.4301)	austenitico	870	925
X6CrNiTi18-10 (1.4541)	austenitico	870	925
X6CrNiNb18-10 (1.4550)	austenitico	870	925
X5CrNiMo17-12-2 (1.4401)	austenitico	870	925
X8CrNi25-21 (1.4845)	austenitico	1035	1150
X12Cr13 (1.4006)	ferritico	815	705
X2CrTi12 (1.4512)	ferritico	815	705
X6Cr17 (1.4016)	ferritico	870	815
X10CrAlSi25 (1.4762)	ferritico	1175	1095
X12Cr13 (1.4006)	martensitico	815	705
X12CrS13 (1.4005)	martensitico	760	675
X30Cr13 (1.4028)	martensitico	735	620
X105CrMo17 (1.4125)	martensitico	815	760

Tabella 20 – Temperature massime d'impiego in regime ciclico e stazionario di alcuni tra i più comuni acciai inossidabili [tratto da Schweitzer 2007].

⁷² I regimi ciclici sono più critici di quelli stazionari poiché, a causa delle ripetute dilatazioni e contrazioni termiche dell'ossido superficiale e del substrato metallico, è più agevole che si assista alla frammentazione e al distacco dello stato superficiale protettivo.



Gli acciai inossidabili martensitici, gli acciai inossidabili ferritici e gli acciai inossidabili austenitici sono le tre famiglie più utilizzate per contrastare il degrado in ambienti ossidanti.

In termini generali vale la regola che, al crescere del tenore di cromo, aumenta la resistenza all'ossidazione a caldo, almeno in regime stazionario: leghe col 13% di cromo sono adeguate fino a 660°-680°C, col 17% di cromo fino a 800°-820°C e col 18-20% di fino a 960°-980°C. Per poter raggiungere il limite superiore d'impiego degli acciai inossidabili in ambienti ossidanti è necessario ricorrere a leghe contenenti il 25% di cromo: in questo caso le temperature massime sono dell'ordine di 1050°-1100°C.

Quando invece il regime termico diviene ciclico si dovrà ricorrere all'alligazione con nichel: pertanto, a parità di temperatura d'impiego e di tenore di cromo in lega, un acciaio inossidabile austenitico avrà generalmente un comportamento superiore, in termini di durata in esercizio, rispetto ad un acciaio inossidabile martensitico o ferritico⁷³.

Benché gli acciai inossidabili tipo X6Cr17, X5CrNi18-10 e X5CrNiMo17-12-2 siano di largo impiego ad elevate temperature, non si dimentichi che esistono specifiche composizioni chimiche messe a punto per applicazioni estreme. Esempi in tal senso sono l'acciaio inossidabile ferritico X10CrAlSi25 (simile all'AlSi 446), ad elevato tenore di cromo con aggiunte di alluminio e silicio, o l'acciaio inossidabile austenitico X8CrNi25-21, ad alto cromo e nichel: in entrambi i casi si tratta di materiali molto resistenti fino a 1000°-1100°C.

Se oltre alla corrosione a caldo è contemporaneamente richiesta anche la resistenza allo scorrimento viscoso, gli acciai inossidabili ferritici non sono certamente i più adatti: oltre i 400°C intervengono fenomeni di infragilimento della struttura che riducono drasticamente le loro proprietà meccaniche a caldo.

In questi ambiti si deve far ricorso agli acciai inossidabili austenitici, molto più resistenti a *Creep* a causa del loro reticolo cubico a facce centrate: essi sono utilizzabili fino a temperature di circa 850°-870°C. In alternativa si può pensare di impiegare acciai inossidabili martensitici, ma solo fino ad un massimo di 500°-550°C.

⁷³ Si osservino con attenzione le temperature indicate in tabella 20. Nel caso degli acciai inossidabili ferritici e martensitici le temperature d'esercizio più elevate sono quelle in regime ciclico, mentre per gli acciai inossidabili austenitici sono invece quelle in regime stazionario. Questo risultato, all'apparenza strano, è legato alla maggiore dilatazione termica lineare della struttura austenitica rispetto alla struttura ferritica o martensitica: caratteristica che induce maggiori tensioni meccaniche tra il substrato e il film d'ossido, influenzando negativamente la compattezza della barriera protettiva.



CONSIGLI BIBLIOGRAFICI

Sugli acciai inossidabili esiste una bibliografia molto vasta; se oltre ai libri si considerano le riviste scientifiche e gli atti dei congressi tematici, il numero dei contributi – almeno in lingua inglese – diviene sterminato.

A nostro avviso i testi di riferimento sono sostanzialmente tre.

Innanzitutto l'ormai introvabile Peckner D., Bernstein I. M., Handbook of Stainless Steels, McGraw Hill, New York, USA, 1977. Si tratta di un'opera collettiva con contributi di vari autori. Nonostante sia un po' datato, dà un quadro completo su tutti le più importanti questioni relative agli acciai inossidabili; al suo interno si trovano anche interessantissime informazioni assolutamente attuali.

Il secondo testo che consigliamo è un'altra opera collettiva: Lacombe P., Baroux B., Beranger G., Stainless Steels, Les Edition de Physique, Les Ulis, France, 1993. Inizialmente pubblicato in francese, è stato successivamente tradotto in inglese per renderlo più fruibile da parte del pubblico internazionale. Vengono trattate approfonditamente sia le tematiche scientifiche che quelle più tipicamente tecnologiche ed applicative.

Da ultimo non può mancare un volume di riferimento sulla corrosione degli acciai inossidabili. Si tratta di Sedriks A. J., Corrosion of Stainless Steels, 2nd ed., John Wiley & Sons, New Jersey, USA, 1996: è un testo specificamente realizzato per trattare i problemi della corrosione degli acciai inossidabili e non, come avviene abitualmente, un testo di corrosione in cui gli acciai inossidabili sono uno dei tanti temi descritti.

In italiano il quadro è molto più scarno: solo due sono i testi di riferimento sugli acciai inossidabili.

Da un lato c'è Di Caprio G., Gli Acciai inossidabili, 4^a ed., Hoepli, Milano, Italia, 2003. Il testo del Prof. Di Caprio è molto valido, soprattutto se non siete degli addetti ai lavori: si tratta di un'interessante introduzione (e il termine "introduzione" non deve trarre in inganno) sugli acciai inossidabili e sulle loro problematiche; il volume è stato tradotto anche in altre lingue. Contiene una miriade di informazioni sulle principali applicazioni degli acciai inossidabili che l'autore ha raccolto a partire dagli anni '60 fino alla sua scomparsa nel 2010.

L'altro libro in italiano è Nicodemi W., Introduzione agli acciai inossidabili, 2^a ed., Associazione Italiana di Metallurgia, Milano, Italia, 2002. Inizialmente pubblicato a cavallo tra gli anni '80 e '90 del secolo scorso come serie di articoli sulla rivista – ormai defunta – l'Acciaio Inossidabile, è stato successivamente raccolto in un unico volume; soffre un po' del fatto di non essere mai stato rieditato in modo organico. È un libro molto interessante che riporta anche alcuni casi pratici di Failure per corrosione degli acciai inossidabili; esso rappresenta la controparte metallurgica del testo del Prof. Di Caprio.

Sul tema corrosione degli acciai inossidabili non vi è purtroppo nulla di specifico in italiano. Rimandiamo il lettore desideroso di approfondire al volume Pedeferrì P., Corrosione e protezione dei materiali metallici, Polipress, Milano, Italia 2010 che contiene molti riferimenti agli acciai inossidabili.



BIBLIOGRAFIA

[ArcelorMittal 2010] AA.VV., Stainless Steel and Corrosion (in www.aperam.com), ArcelorMittal, Paris, France, 2010.

[ASM-H.3 1992] ASM Handbook Committee, ASM Handbook, 10ª ed., Vol. 3 – Alloy Phase Diagrams, ASM International, Metals Park, Ohio, USA, 1992.

[ASM-H.13 1992] ASM Handbook Committee, ASM Handbook, 10ª ed., Vol. 13 – Corrosion, ASM International, Metals Park, Ohio, USA, 1992.

[ASTM G46] ASTM International G46-94 (reapproved 2013), Standard Guide for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2013.

[Atlas Speciality Metals 2003] AA.VV., Technical Handbook of Stainless Steels (in www.atlasmetals.com.au), Atlas Speciality Metals, Melbourne, Australia, 2003.

[Baddoo 1997] Baddoo N., Burgan R., Ogden R., Architects' Guide to Stainless Steel, SCI Publication 179, Steel Construction Institute, Silwood Park, Ascot, UK, 1997.

[Bianchi e Mazza 1989] Bianchi G., Mazza F., Corrosione e protezione dei metalli, 3ª ed., Masson, Milano, 1989.

[Copson 1959] Copson H.R., Effect of Composition on Stress Corrosion Cracking of Some Alloys Containing Nickel, Physical Metallurgy of Stress Corrosion Fracture, Rhodin T. ed., Interscience Publishers, Inc., New York, 1959.

[Cowan e Tedmon 1973] Cowan R.L. e Tedmon C.S., Intergranular Corrosion of Iron-Nickel-Chromium Alloys, Advances in Corrosion Science and Technology, Vol. 3, Plenum Press, New York, USA, 1973.

[Di Caprio 2003] Di Caprio G., Gli acciai inossidabili, 4ª ed., Hoepli, Milano, 2003.

[EN 10088] UNI-EN 10088, Parti da 1 a 5, Acciai inossidabili, UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano, 2005-2009.

Parte 1 – Lista degli acciai inossidabili, 2005.

Parte 2 – Condizioni tecniche di fornitura delle lamiere, dei fogli e dei nastri di acciaio resistente alla corrosione per impieghi generali, 2005.

Parte 3 – Condizioni tecniche di fornitura dei semilavorati, barre, vergella, filo, profilati e prodotti trasformati a freddo di acciaio resistente alla corrosione per impieghi generali.

Parte 4 – Condizioni tecniche di fornitura dei fogli, delle lamiere e dei nastri di acciaio resistente alla corrosione per impieghi nelle costruzioni, 2009.

Parte 5 – Condizioni tecniche di fornitura delle barre, vergelle, filo, profilati e prodotti trasformati a freddo di acciaio resistente alla corrosione per impieghi nelle costruzioni, 2009.



- [Grobner 1973] Grobner P. J., The 885°F (475°C) Embrittlement of Ferritic Stainless Steels, Metallurgical Transactions, Vol. 4, Springer, Berlin, West Germany, 1973.
- [Khatak e Baldev 2002] Khatak H. S. e Baldev Ray eds., Corrosion of Austenitic Stainless Steels – Mechanism, Mitigation and Monitoring, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, UK, 2002.
- [Krauss 2005] Krauss G., Steel: Processing, Structure, and Performance, ASM International, Metals Park, Ohio, USA, 2005.
- [Lacombe et al. 1993] Lacombe P., Baroux B., Beranger G., Stainless Steels, Les Edition de Physique, Les Ulis, France, 1993.
- [Lippold e Kotecki 2005] Lippold, J. C., Kotecki, D. J., Welding metallurgy and weldability of stainless steels, JohnWiley & Sons, New Jersey, USA, 2005.
- [Llewellyn e Hudd 1998] Llewellyn D. T. e Hudd R. C., Steels: Metallurgy and Applications, 3rd ed., Butterworth Heinemann, Oxford, UK, 1998.
- [McGuire 2008] McGuire M., Stainless Steels for Design Engineers, ASM International, Metals Park, Ohio, USA, 2008.
- [Nicodemi 2002] Nicodemi W., Introduzione agli acciai inossidabili, 2^a ed., Associazione Italiana di Metallurgia, Milano, Italia, 2002.
- [Olefjord et al. 1985] Olefjord I., Brox B., Jelvestam U., Surface composition of stainless steels during anodic dissolution and passivation studied by ESCA, Journal of the Electrochemical Society, Vol. 132, ECS, Pennington, New Jersey, USA, 1985.
- [Olsson e Landot 2003] Olsson C.-O.A., Landolt D., Passive films on stainless steels - chemistry, structure and growth, Electrochimica Acta, Vol. 48, Elsevier, Amsterdam, Holland, 2003.
- [Osozawa e Engell 1966] Osozawa K., Engell H. J., The anodic polarization curves of iron–nickel–chromium alloys, Corrosion Science, Vol. 6, Elsevier, Amsterdam, Holland, 1966.
- [Osozawa et al. 1966] Osozawa K., Bohnenkamp K., Engell H. J., Potentiostatic study on the intergranular corrosion of an austenitic chromium-nickel stainless steel, Corrosion Science, Vol. 6, Elsevier, Amsterdam, Holland, 1966.
- [Outokumpu 2009] AA.VV., Outokumpu Corrosion Handbook, 10th ed., Outokumpu Oyj, Espoo, Finland, 2009.
- [Oxley et al. 2009] Oxley P., Goodell J., Molt R., Magnetic properties of stainless steels at room and cryogenic temperatures, Journal of Magnetism and Magnetic Properties, Vol. 321, Elsevier, Amsterdam, Holland, 2009.
- [Peckner e Bernstein 1977] Peckner D., Bernstein I. M., Handbook of Stainless Steels, McGraw Hill, New York, USA, 1977.
- [Pedefferri 2010] Pedefferri P., Corrosione e protezione dei materiali metallici, Polipress, Milano, Italia 2010.



[Schweitzer 2007] Schweitzer P.A., Fundamentals of Metallic Corrosion, 2nd ed., CRCnet base, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, USA, 2007.

[Sedriks 1986] Sedriks A. J., Effects of Alloy Composition and Microstructure on the Passivity of Stainless Steels, Corrosion, Vol. 42, NACE, Houston, Texas, USA, 1986.

[Sedriks 1996] Sedriks A. J., Corrosion of Stainless Steels, 2nd ed., John Wiley & Sons, New Jersey, USA, 1996.

[Talbot e Talbot 1998] Talbot D., Talbot J., Corrosion Science and Technology, CRCnet base, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, USA, 1998.

[Shirer et al. 1994] Shreir L. L., Jarman R. A., Burstein G. T., Corrosion, 2 voll., 3rd ed., Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, 1994.

[Stansbury e Buchanan 2000] Stansbury E. E., Buchanan R. A., Fundamentals of Electrochemical Corrosion, ASM International, Metals Park, Ohio, USA, 2000.

[Vander Voort 1991] Vander Voort G. F., Atlas of Time-Temperature Diagrams for Irons and Steels, ASM International, Metals Park, Ohio, USA, 1991.

[Verhoeven 2007] Verhoeven J. D., Steel Metallurgy for the Non-Metallurgist, ASM International, Metals Park, Ohio, USA, 2007.

[Wever et al. 1954/56/58] Wever F. et al, Atlas zur Wärmebehandlung der Stähle, Verlag Stahleisen mbH, Dusseldorf, West Germany, 1954/56/58, Wever F., Rose A., Vol. 1; Rose A., Peter W., Strassburg W., Rademacher L., Vol. 2.







APPENDICE 1

MICROSTRUTTURE E FORME DI CORROSIONE DEGLI ACCIAI INOSSIDABILI

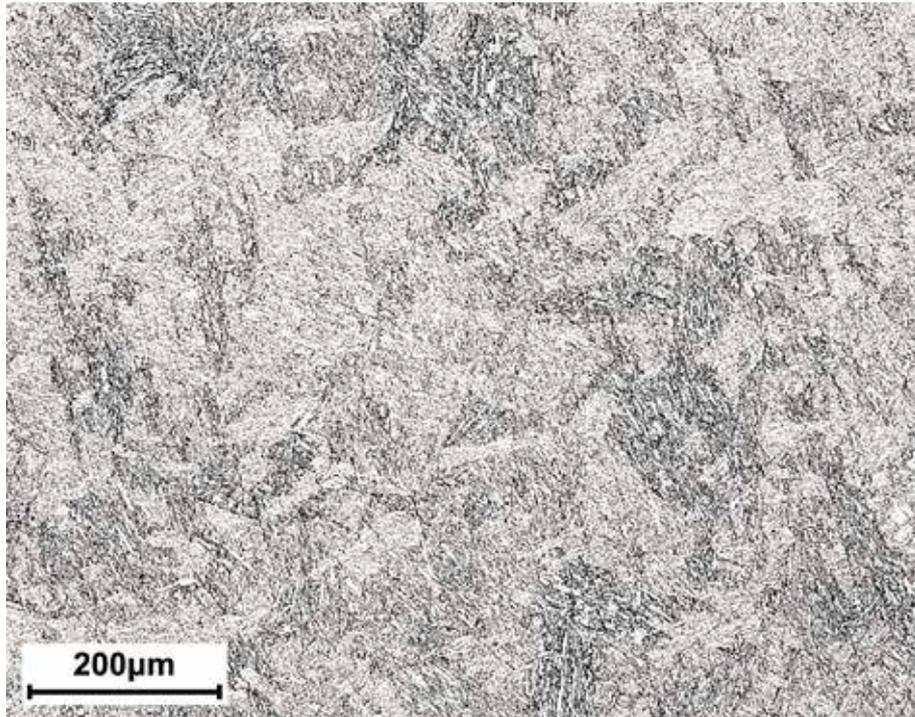


Per le micrografie che seguono un sentito ringraziamento ai seguenti laboratori:

- Laboratorio di Metallurgia del Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano,
I-20156 Milano, Via La Masa, 1
Sig. Piero Pellin, Sig. Maurizio Pardi, Ing. Silvia Barella, Ing. Silvia Cincera, Ing. Mattia Bellogini,
Ing. Fabrizio D'Errico, Ing. Andrea Casaroli, Prof. Marco Boniardi
- Laboratorio Hammer S.r.l.,
I-20017 Rho (MI), Via Risorgimento, 69/22
Sig.ra Patrizia Maio, Ing. Marco Feraboli, Ing. Luca Bonvini
- Laboratorio Omeco S.r.l.,
I-20900 Monza (MB), Via Monviso, 56
Ing. Alessandra Marelli, Ing. Marco Casaril, Ing. HC Clemente Marelli

Per ovi motivi di spazio, non è stato possibile riportare in appendice tutte le micrografie di cui disponiamo. La galleria completa, con più di cinquanta immagini, è disponibile gratuitamente al sito www.fa-fe.com nella sezione micrografie http://www.fa-fe.com/files/educational_metallografie.html





Barra tonda temprata e rinvenuta a 650°C

Acciaio inossidabile martensitico tipo X20C13 (simile all'AISI 420)

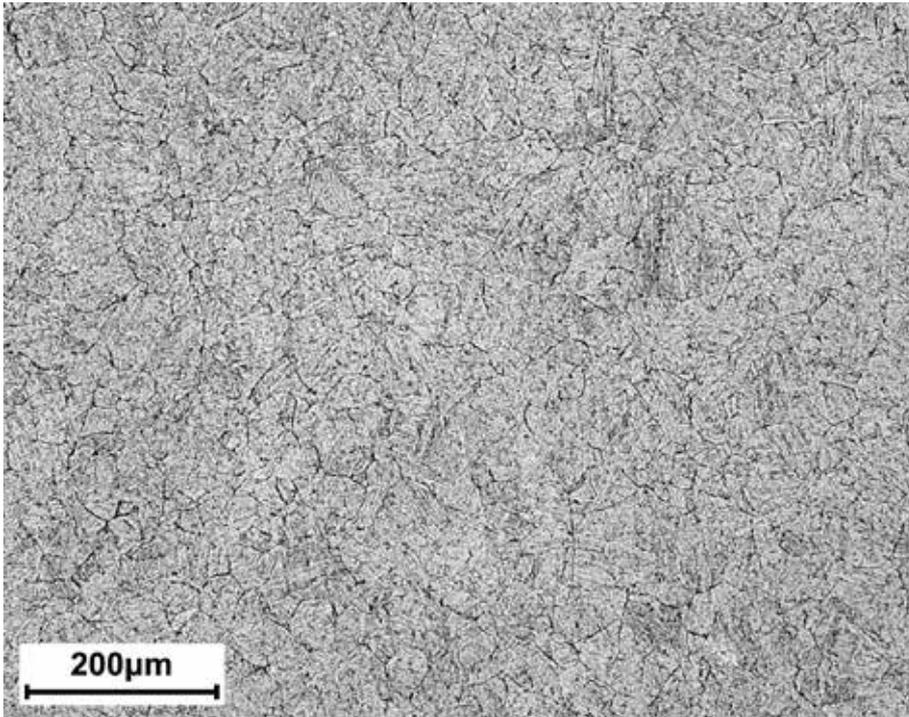
Reagente: Vilella

Struttura martensitica omogenea

Fonte: Laboratori Hammer S.r.l., Rho (MI)

Ulteriori immagini su www.fa-fe.com,
sezione metallografie http://www.fa-fe.com/files/educational_metallografie.html





Semilavorato forgiato, temprato e invecchiato a 620°C

Acciaio inossidabile PH-martensitico tipo X5CrNiCuNb16-4 (simile al tipo 17-4PH)

Reagente: Vilella

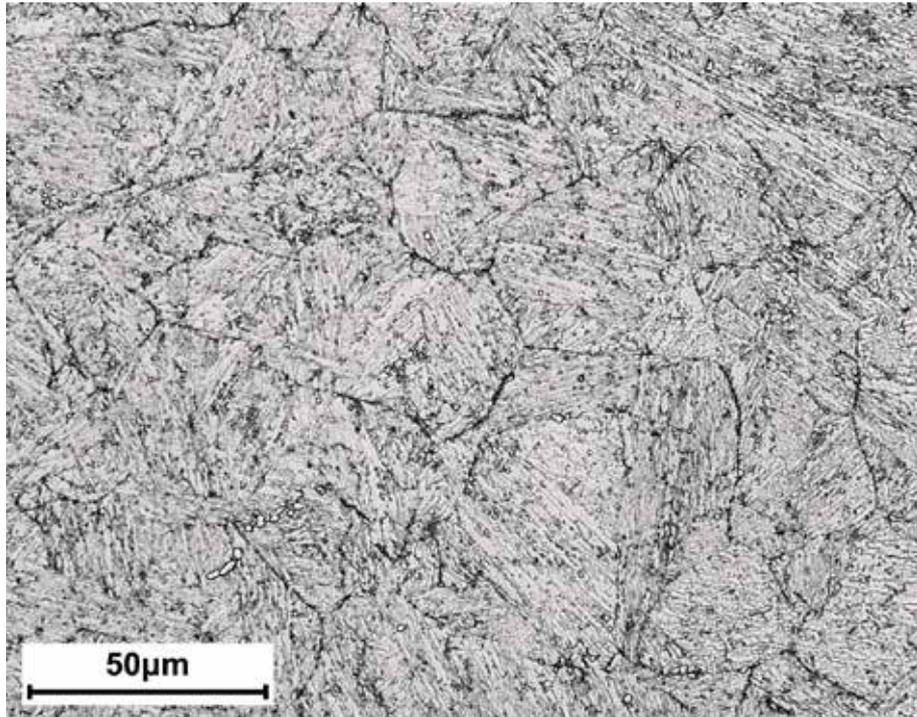
Struttura martensitica omogenea con carburi al bordo dell'originario grano austenitico

Fonte: Laboratori Hammer S.r.l., Rho (MI)

Ulteriori immagini su www.fa-fe.com,

sezione metallografie http://www.fa-fe.com/files/educational_metallografie.html





Particolare dell'immagine precedente a maggiori ingrandimenti

Acciaio inossidabile PH-martensitico tipo X5CrNiCuNb16-4 (simile al tipo 17-4PH)

Reagente: Vilella

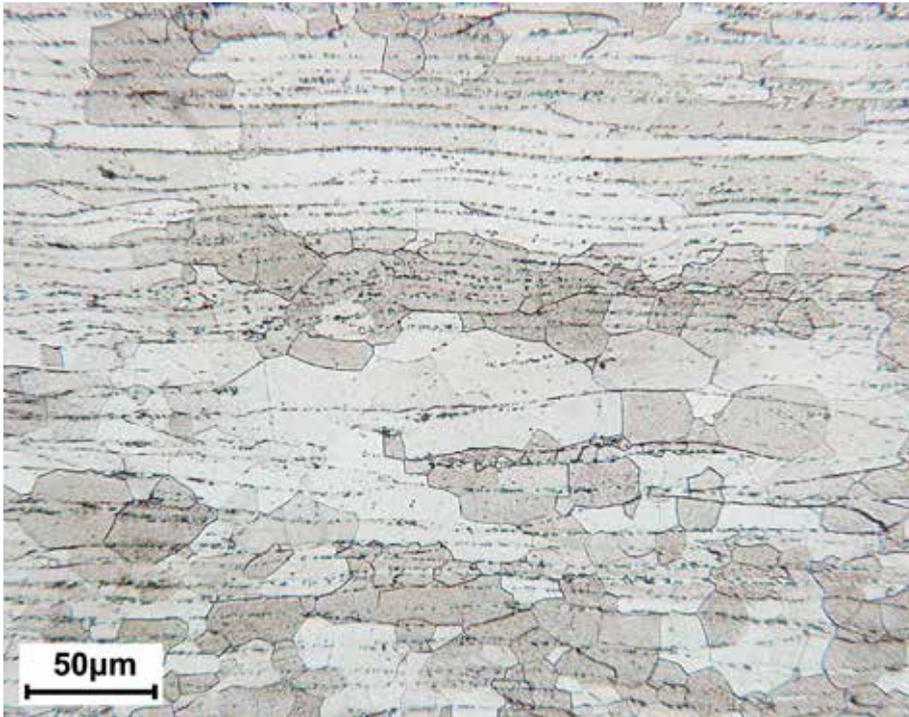
Struttura martensitica omogenea con carburi al bordo dell'originario grano austenitico

Fonte: Laboratori Hammer S.r.l., Rho (MI)

Ulteriori immagini su www.fa-fe.com,

sezione metallografie http://www.fa-fe.com/files/educational_metallografie.html





Nastro laminato a freddo e ricotto

Acciaio inossidabile ferritico tipo X6Cr17 (simile all'AISI 430)

Reagente: Vilella

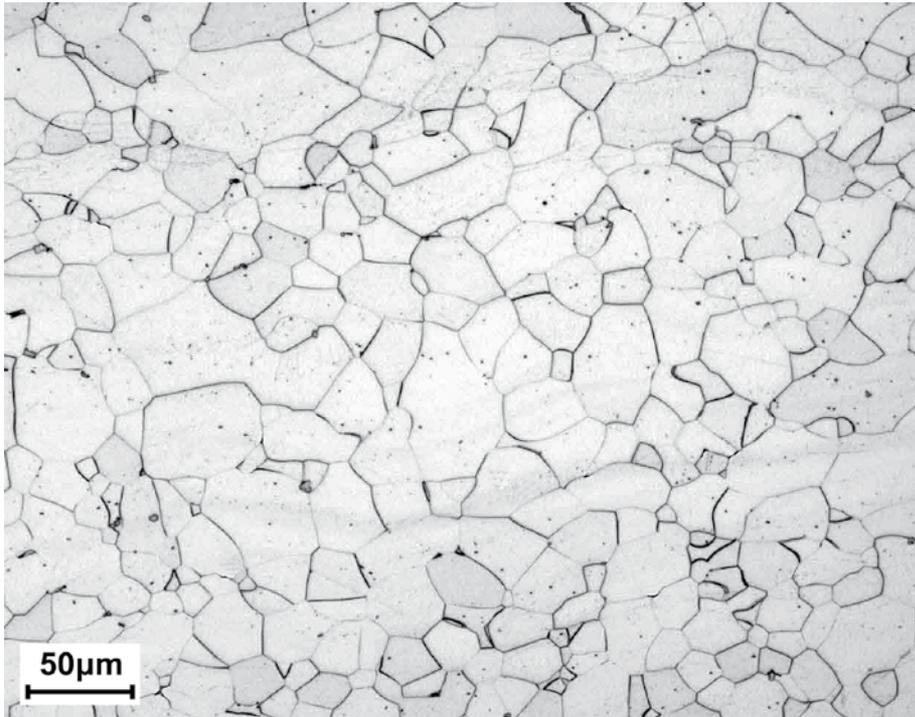
Grani ferritici omogenei con carburi disposti nel senso della direzione di laminazione

Fonte: Laboratori del Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano (MI)

Ulteriori immagini su www.fa-fe.com,

sezione metallografie http://www.fa-fe.com/files/educational_metallografie.html





Nastro laminato a freddo e ricotto

Acciaio inossidabile ferritico tipo X2CrTiNb18 (simile all'AISI 441)

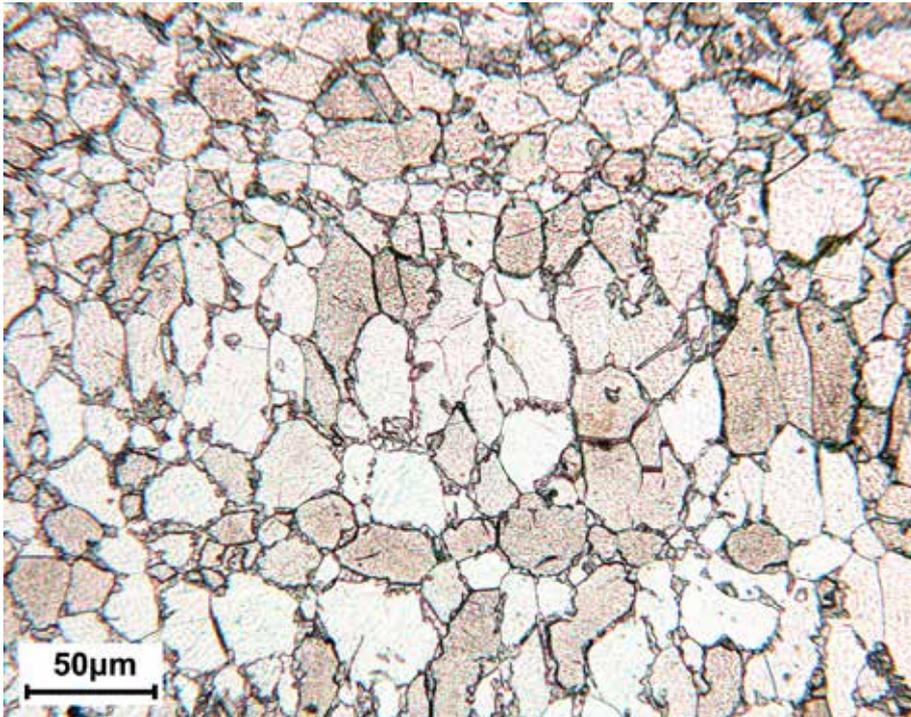
Reagente: Vilella

Grani ferritici omogenei

Fonte: Laboratori OMECO S.r.l., Monza (MB)

Ulteriori immagini su www.fa-fe.com,
sezione metallografie http://www.fa-fe.com/files/educational_metallografie.html





Nastro laminato a freddo e ricotto; zona termicamente alterata dopo saldatura a resistenza

Acciaio inossidabile ferritico tipo X6Cr17 (simile all'AISI 430)

Reagente: Vilella

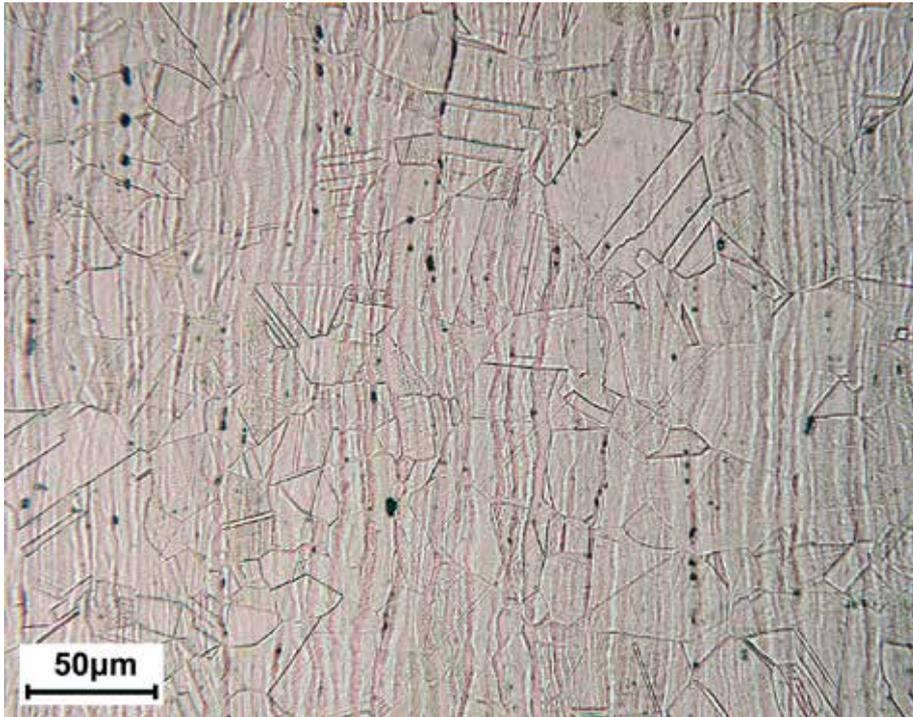
Grani ferritici omogenei circondati da placchette di martensite

Fonte: Laboratori del Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano (MI)

Ulteriori immagini su www.fa-fe.com,

sezione metallografie http://www.fa-fe.com/files/educational_metallografie.html





Barra tonda trafilata e solubilizzata in linea

Acciaio inossidabile austenitico tipo X5CrNi18-10 (simile all'AISI 304)

Reagente: Acido ossalico (elettrolitico)

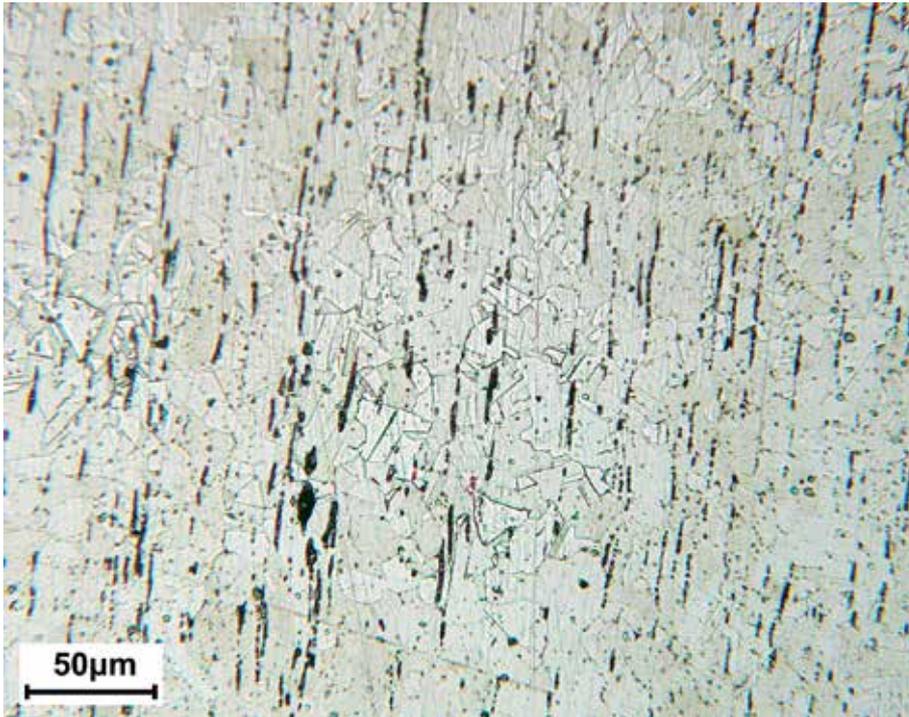
Grani austenitici omogenei con bande di deformazione disposte nel senso della trafilatura

Fonte: Laboratori del Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano (MI)

Ulteriori immagini su www.fa-fe.com,

sezione metallografie http://www.fa-fe.com/files/educational_metallografie.html





Barra tonda trafilata e solubilizzata

Acciaio inossidabile austenitico tipo X8CrNiS18-9 (simile all'AISI 303)

Reagente: Acido ossalico (elettrolitico)

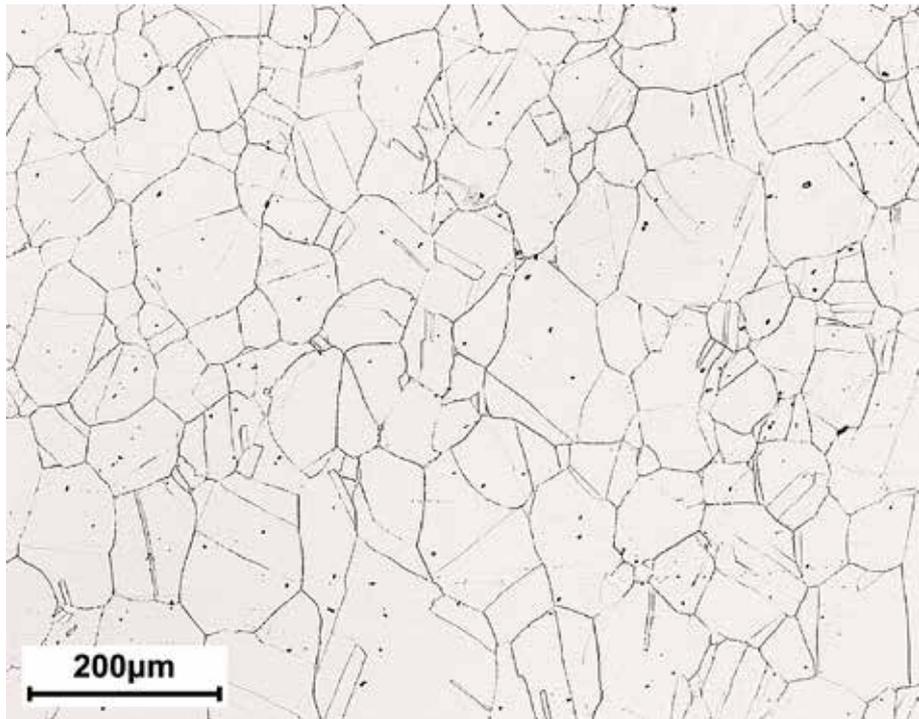
Note: Grani austenitici omogenei con solfuri di manganese disposti nel senso della trafilatura

Fonte: Laboratori del Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano (MI)

Ulteriori immagini su www.fa-fe.com,

sezione metallografie http://www.fa-fe.com/files/educational_metallografie.html





Semilavorato forgiato e solubilizzato

Acciaio inossidabile austenitico tipo X2CrNiMoN17-13-3 (simile all'AISI 316LN)

Reagente: Acido ossalico (elettrolitico)

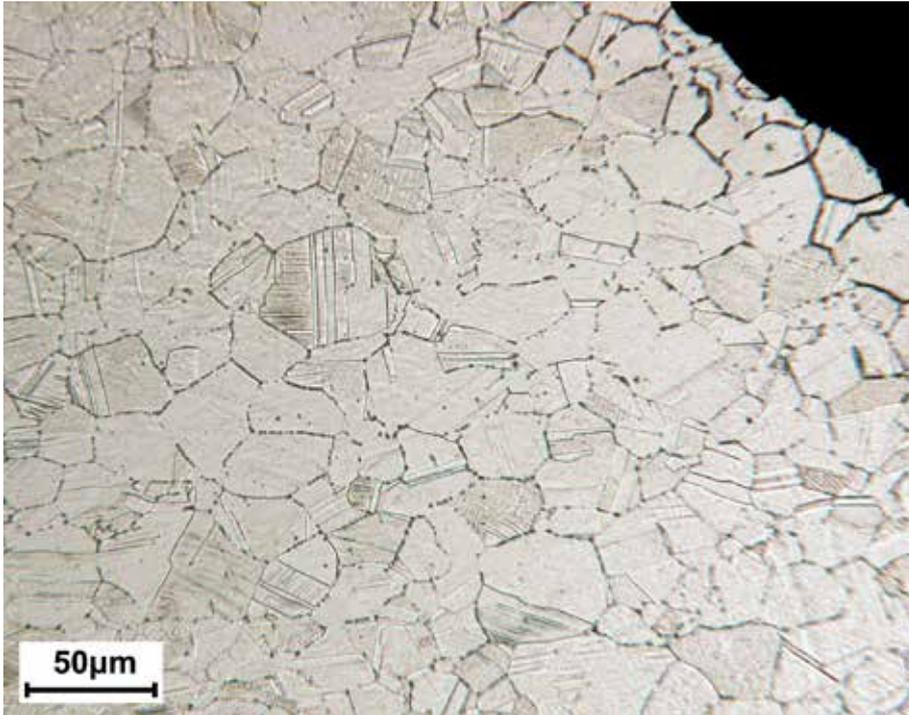
Note: Grani austenitici omogenei

Fonte: Laboratori Hammer S.r.l., Rho (MI)

Ulteriori immagini su www.fa-fe.com,

sezione metallografie http://www.fa-fe.com/files/educational_metallografie.html





Nastro laminato a freddo e solubilizzato

Acciaio inossidabile austenitico tipo X5CrNiMo17-12-2 (simile all'AISI 316)

Reagente: Acido ossalico (elettrolitico)

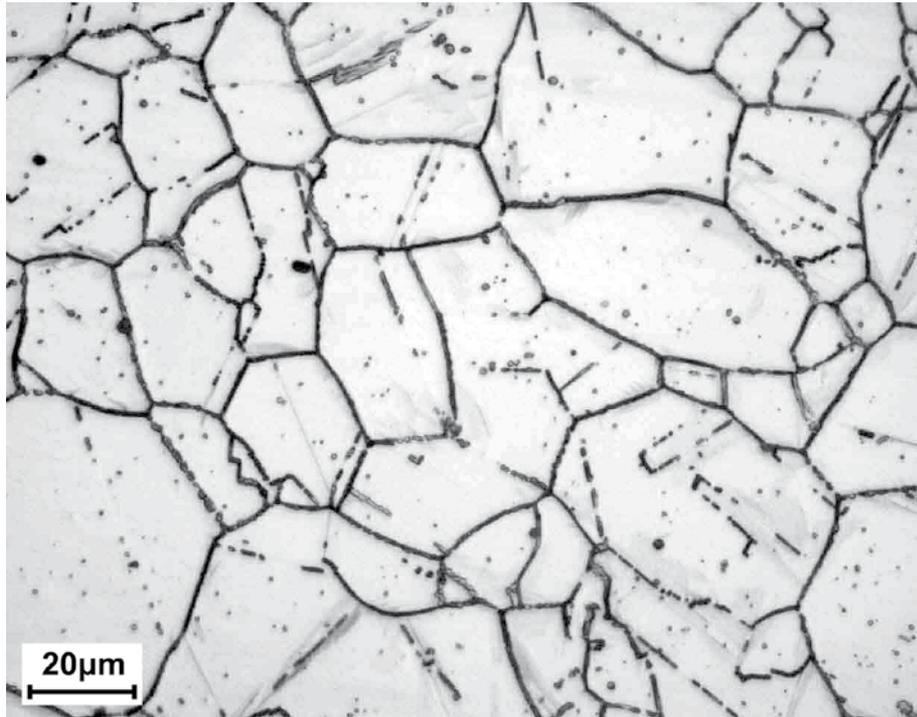
Grani austenitici omogenei con precipitazione di carburi a bordo grano

Fonte: Laboratori del Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano (MI)

Ulteriori immagini su www.fa-fe.com,

sezione metallografie http://www.fa-fe.com/files/educational_metallografie.html





Lamiera laminata a caldo, solubilizzata e sensibilizzata

Acciaio inossidabile austenitico tipo X5CrNiMo17-12-2 (simile all'AISI 316)

Reagente: Acido ossalico (elettrolitico)

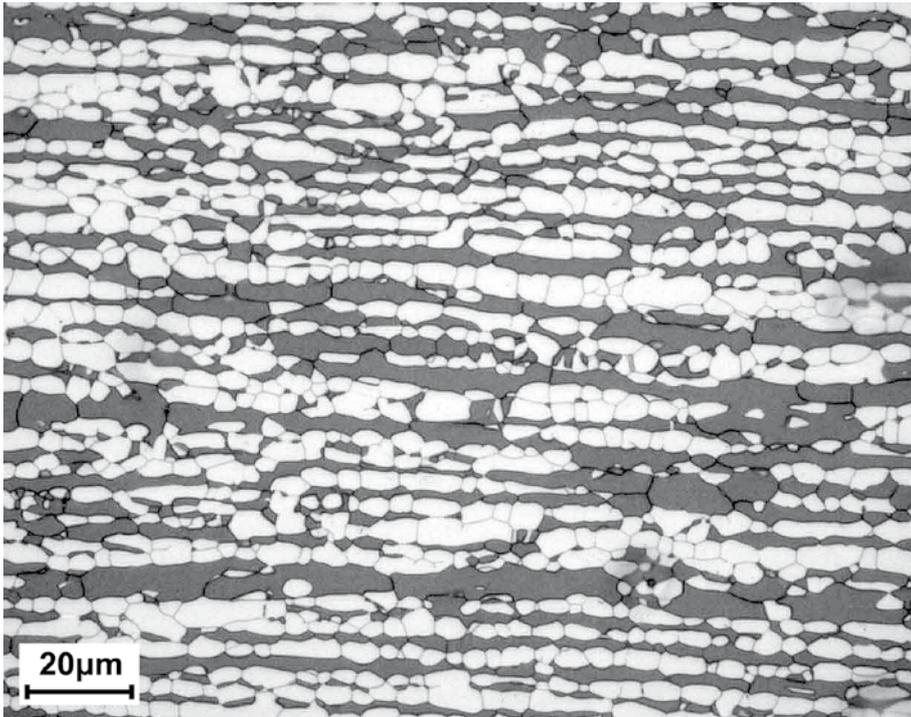
Grani austenitici omogenei con abbondante precipitazione di carburi a bordo grano

Fonte: Laboratori OMECO S.r.l., Monza (MB)

Ulteriori immagini su www.fa-fe.com,

sezione metallografie http://www.fa-fe.com/files/educational_metallografie.html





Lamiera laminata a caldo e solubilizzata

Acciaio inossidabile bifasico tipo X2CrNiMoN22-5-3 (simile al 2205)

Reagente: Acido ossalico poi soda caustica (elettrolitico)

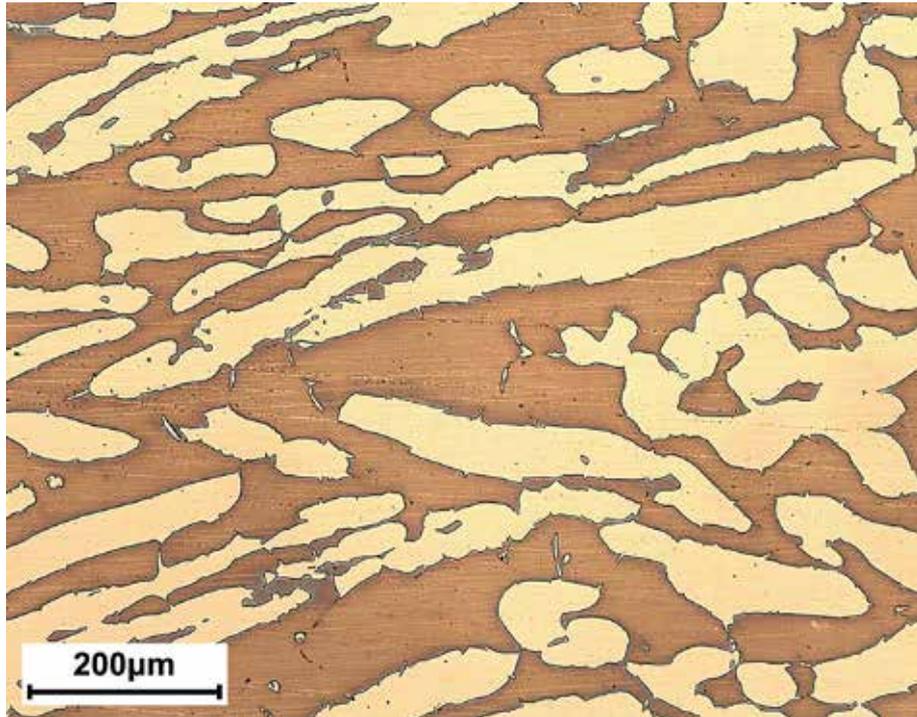
Grani austenitici omogenei e grani ferritici omogenei allungati lungo l'asse di laminazione

Fonte: Laboratori OMECO S.r.l., Monza (MB)

Ulteriori immagini su www.fa-fe.com,

sezione metallografie http://www.fa-fe.com/files/educational_metallografie.html





Semilavorato forgiato e solubilizzato

Acciaio inossidabile bifasico tipo X2CrNiMoN22-5-3 (simile al 2205)

Reagente: Soda caustica (elettrolitico)

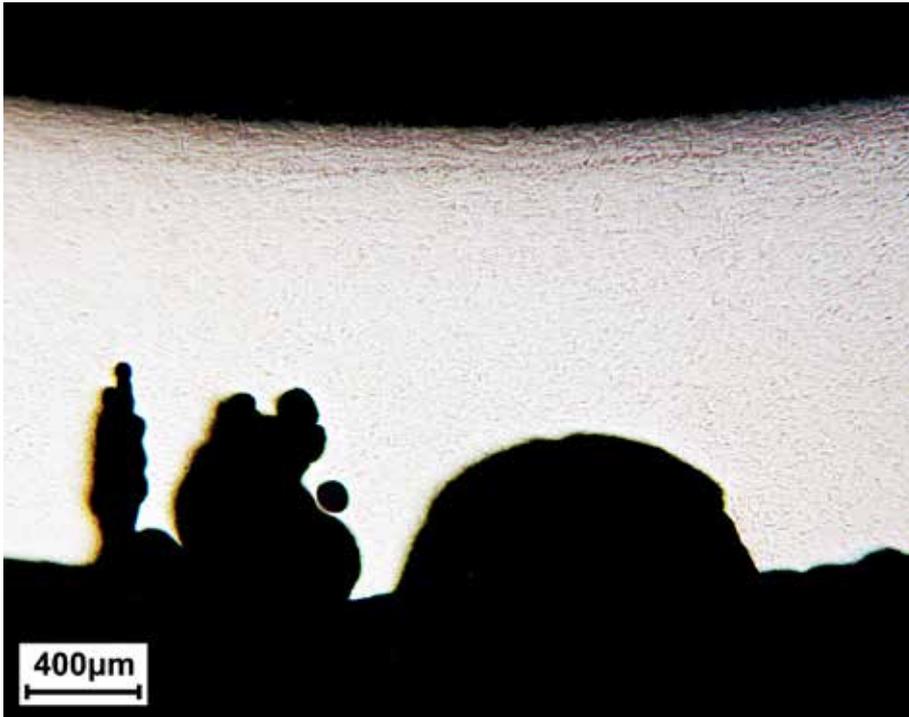
Note: Grani austenitici (chiaro) in una matrice di ferrite (scuro)

Fonte: Laboratori Hammer S.r.l., Rho (MI)

Ulteriori immagini su www.fa-fe.com,

sezione metallografie http://www.fa-fe.com/files/educational_metallografie.html





Tubazione

Acciaio inossidabile austenitico tipo X5CrNi18-10 (simile all'AISI 304)

Reagente: Acido ossalico (elettrolitico)

Corrosione localizzata per *Pitting* in acqua dolce stagnante; temperatura ~ 60°C

Vaiolature multiple con uniforme penetrazione

Grani austenitici omogenei

Fonte: Laboratori del Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano (MI)

Ulteriori immagini su www.fa-fe.com,

sezione metallografie http://www.fa-fe.com/files/educational_metallografie.html





Tubazione

Acciaio inossidabile austenitico tipo X5CrNi18-10 (simile all'AISI 304)

Reagente: Acido ossalico (elettrolitico)

Corrosione localizzata per *Pitting* in acqua dolce stagnante; temperatura ~ 60°C

Singola vaiolatura con cavità multiple

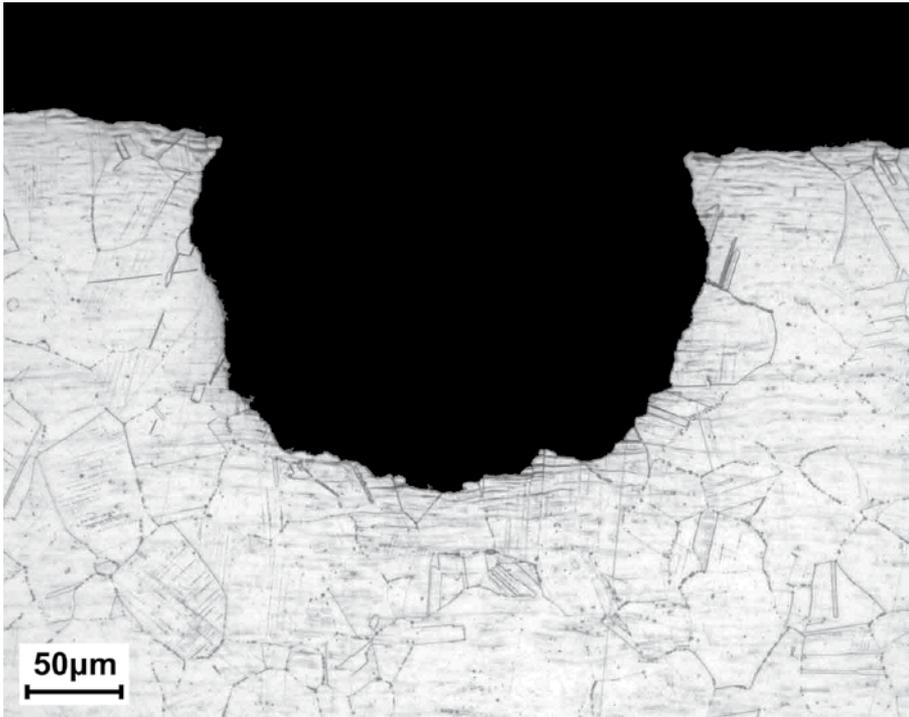
Grani austenitici omogenei

Fonte: Laboratori del Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano (MI)

Ulteriori immagini su www.fa-fe.com,

sezione metallografie http://www.fa-fe.com/files/educational_metallografie.html





Tubazione per scambiatore di calore

Acciaio inossidabile austenitico tipo X5CrNiMo17-12-2 (simile all'AISI 316)

Reagente: Acido ossalico (elettolitico)

Corrosione localizzata per *Pitting* in acqua di mare; temperatura ~ 50°C

Particolare di una cavità tondeggiante

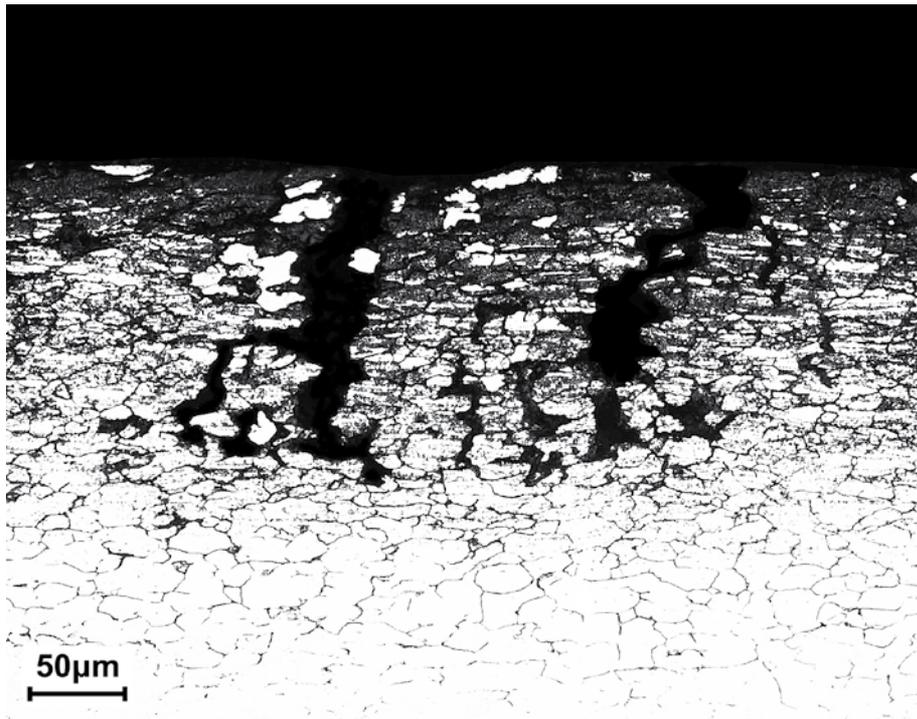
Grani austenitici omogenei

Fonte: Laboratori OMECO S.r.l., Monza (MB)

Ulteriori immagini su www.fa-fe.com,

sezione metallografie http://www.fa-fe.com/files/educational_metallografie.html





Giunzione saldata su una tubazione

Acciaio inossidabile austenitico tipo X5CrNi18-10 (simile all'AISI 304)

Reagente: Acido ossalico (elettrolitico)

Corrosione intergranulare in soluzione acquosa pH 5.5; temperatura ~ 20°C

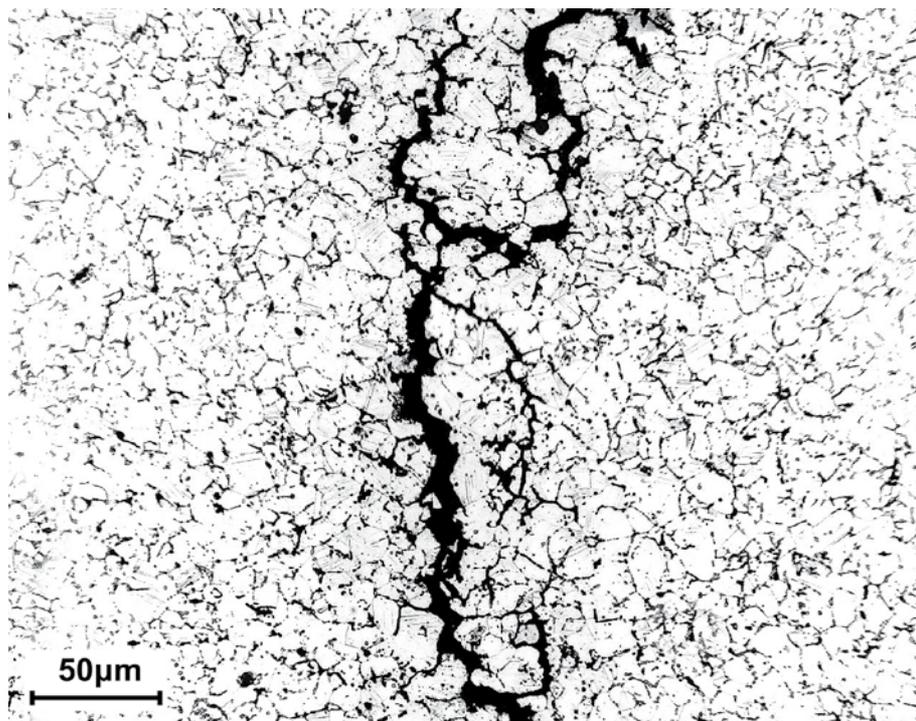
Cricche intergranulari multiple e ramificate

Grani austenitici omogenei con carburi a bordo grano

Fonte: Laboratori OMECO S.r.l., Monza (MB)

Ulteriori immagini su www.fa-fe.com,
sezione metallografie http://www.fa-fe.com/files/educational_metallografie.html





Valvola di ritegno gas

Acciaio inossidabile austenitico tipo X5CrNi18-10 (simile all'AISI 304)

Reagente: Acido ossalico (elettrolitico)

Corrosione intergranulare in presenza di umidità atmosferica; temperatura ~ 20°C

Cricche intergranulari ramificate

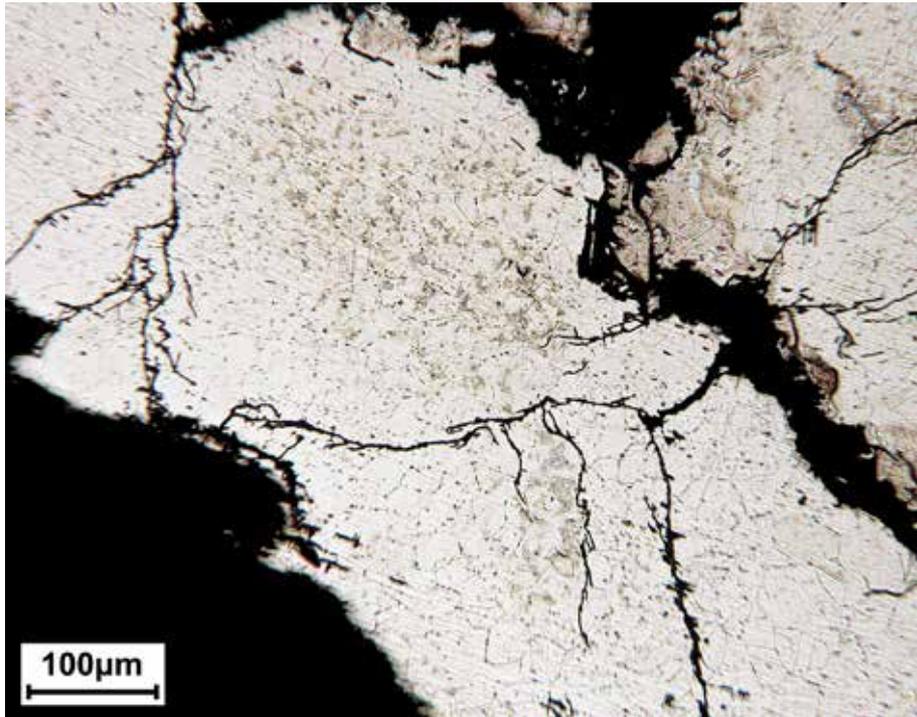
Grani austenitici omogenei con carburi a bordo grano

Fonte: Laboratori del Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano (MI)

Ulteriori immagini su www.fa-fe.com,

sezione metallografie http://www.fa-fe.com/files/educational_metallografie.html





Tubazione

Acciaio inossidabile austenitico tipo X5CrNi18-10 (simile all'AISI 304)

Reagente: Acido ossalico (elettrolitico)

Corrosione sotto tensione in soluzione acquosa contenente cloruri; temperatura ~ 80°C

Presenza di cricche transgranulari multiple e ramificate

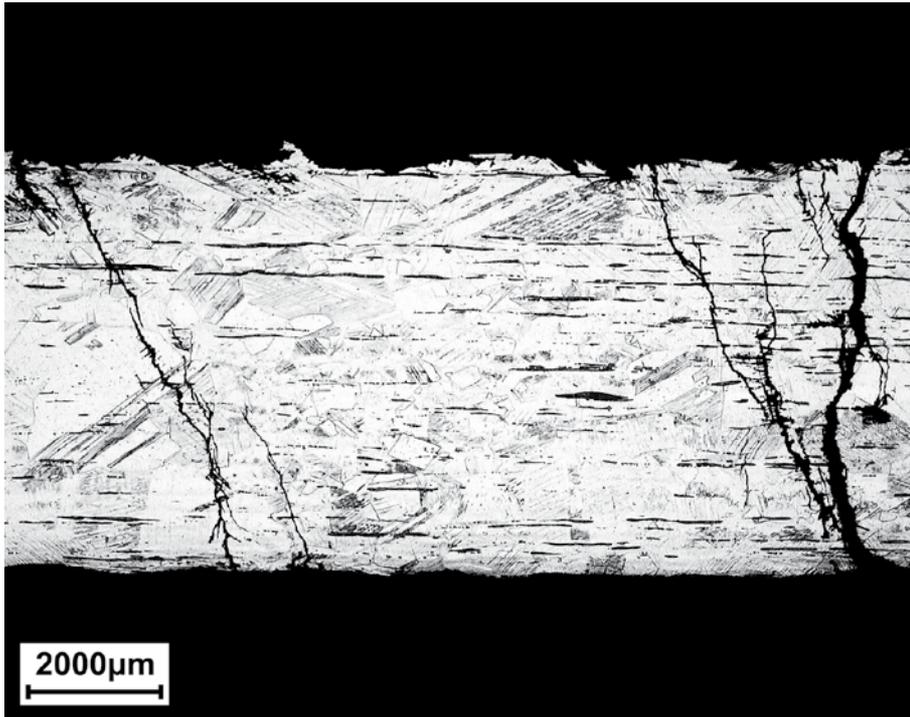
Grani austenitici omogenei con carburi a bordo grano

Fonte: Laboratori del Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano (MI)

Ulteriori immagini su www.fa-fe.com,

sezione metallografie http://www.fa-fe.com/files/educational_metallografie.html





Tubazione

Acciaio inossidabile austenitico tipo X8CrNiS18-9 (simile all'AISI 303)

Reagente: Acido ossalico (elettrolitico)

Corrosione sotto tensione in soluzione acquosa contenente cloruri; temperatura 80°-100°C

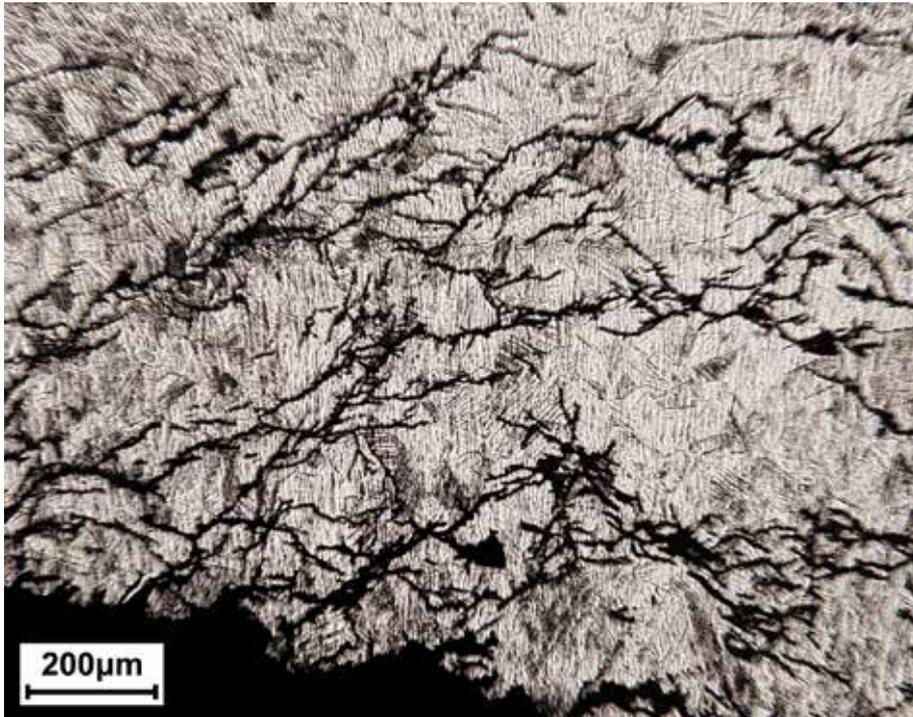
Presenza di cricche transgranulari multiple e ramificate; grani austenitici omogenei

Fonte: Laboratori Omeco S.r.l., Monza (MB)

Ulteriori immagini su www.fa-fe.com,

sezione metallografie http://www.fa-fe.com/files/educational_metallografie.html





Vite di fissaggio

Acciaio inossidabile austenitico tipo X5CrNi18-10 (simile all'AISI 304)

Reagente: Acido ossalico (elettrolitico)

Corrosione sotto tensione in soluzione acquosa contenente cloruri; temperatura 50°-90°C

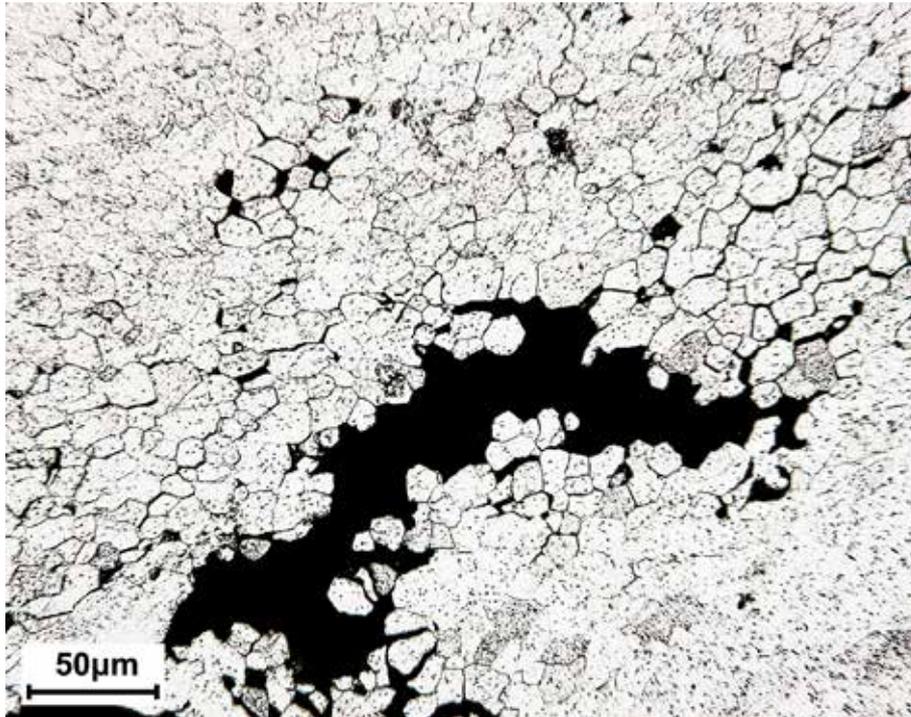
Presenza di cricche transgranulari multiple e ramificate; grani austenitici incruditi

Fonte: Laboratori del Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano (MI)

Ulteriori immagini su www.fa-fe.com,

sezione metallografie http://www.fa-fe.com/files/educational_metallografie.html





Cestello per lavatrice

Acciaio inossidabile ferritico tipo X6Cr17 (simile all'AISI 430)

Reagente: Vilella

Corrosione sotto tensione in soluzione acquosa contenente cloruri; temperatura 90°C

Presenza di cricche multiple intergranulari; grani ferritici omogenei

Fonte: Laboratori del Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano (MI)

Ulteriori immagini su www.fa-fe.com,

sezione metallografie http://www.fa-fe.com/files/educational_metallografie.html





Eremo di Santa Caterina del Sasso, Leggiuno (VA), intervento di recupero
Tirante in acciaio inossidabile austenitico e ancora in acciaio al carbonio zincato
Corrosione da contatto galvanico in aria; escursione termica 0°-30°C

Fonte: foto Marco Boniardi

Ulteriori immagini su www.fa-fe.com,
sezione metallografie http://www.fa-fe.com/files/educational_metallografie.html





APPENDICE 2

SCHEDE TECNICHE

A CURA DI GRUPPO LUCEFIN, RESEARCH & DEVELOPMENT



Qualità materiale	X12CrS13	Acciaio Inossidabile	Scheda Dati rev. 2014
Numero	1.4005	Martensitico	Lucefin Group

Composizione chimica

C%	Si% max	Mn% max	P% max	S%	Cr%	Mo% max	
0,06-0,15	1,00	1,50	0,040	0,15-0,35	12,0-14,0	0,60	EN 10088-1: 2005
± 0.01	+ 0.05	± 0.04	+ 0.005	± 0.02	± 0.15	± 0.03	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Ricristallizzazione +RA	Ricottura di lavorabilità +A	Ricottura completa	Saldatura MMA elettrodi AWS		
1530-1480	1190-925	non adatta	780-750 aria	870-840 raffr. 15 °C/h fino a 590 poi aria	periscaldamento 300	dopo saldatura 600	
Ricottura isoterma +I	Tempra +Q	Rinvenimento +T	Distensione +SR		giunzione con acciai		
885-830 raffr. controllato fino a 720 poi aria	1010-980 olio / polimero aria	680- 660 veloce in aria forzata	250-210 aria		carbonio	legati CrMo	inossidabili
					E309	E309	E309-E308
					riparazione o riporto della base E410 - E309		

Temperature di trasformazioni in fase di riscaldamento **Ac1** ~ 820, **Ac3** ~ 930 e in fase di raffreddamento **Ms** ~ 330, **Mf** ~ 180

Trattamento chimico - Decapaggio (10 - 15% HNO₃) + (0.5 - 1.5 HF) a freddo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione mm		Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					
		R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	HB a)	a) solo per informazione
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min	J min	max	
		730 max				220	+A ricotto
	160	650-850	450	12			+QT650 bonificato

Barre trasformate a freddo di acciai trattati termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 2H, 2B, 2G, 2P

sezione mm		Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					
		R	HB a)	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C
oltre	fino a	N/mm ² max	max	N/mm ²	N/mm ² min	min	J min
	10 b)	880	280	700-1000	550	8	
	10	880	280	700-1000	500	8	
	16	800	250	650-930	450	10	
	40	760	230	650-880	450	10	
	63	730	220	650-850	450	12	
		+A materiale ricotto		+QT650 materiale bonificato			

a) solo per informazione

b) nella gamma 1 mm ≤ d < 5 mm i valori sono validi solo per i tondi - le proprietà meccaniche delle barre non tonde con spessore < 5 mm devono essere concordate al momento della richiesta e dell'ordine

Fucinato (ASTM A 473-99 acciaio ASTM 416)

sezione mm		Prova di trazione in longitudinale a +20 °C							
		R	Rp 0.2	A%	C%	Kv +20 °C	HB	HRC	
oltre	fino a	N/mm ² min	N/mm ² min	min	min	J min	max	min	
		485	275	20	45		223		
								+A materiale ricotto	
								35	
								Tempra 955 °C in aria	

Tabella di rinvenimento valori a temperatura ambiente su tondo Ø 10 mm dopo tempra a 980 °C in olio

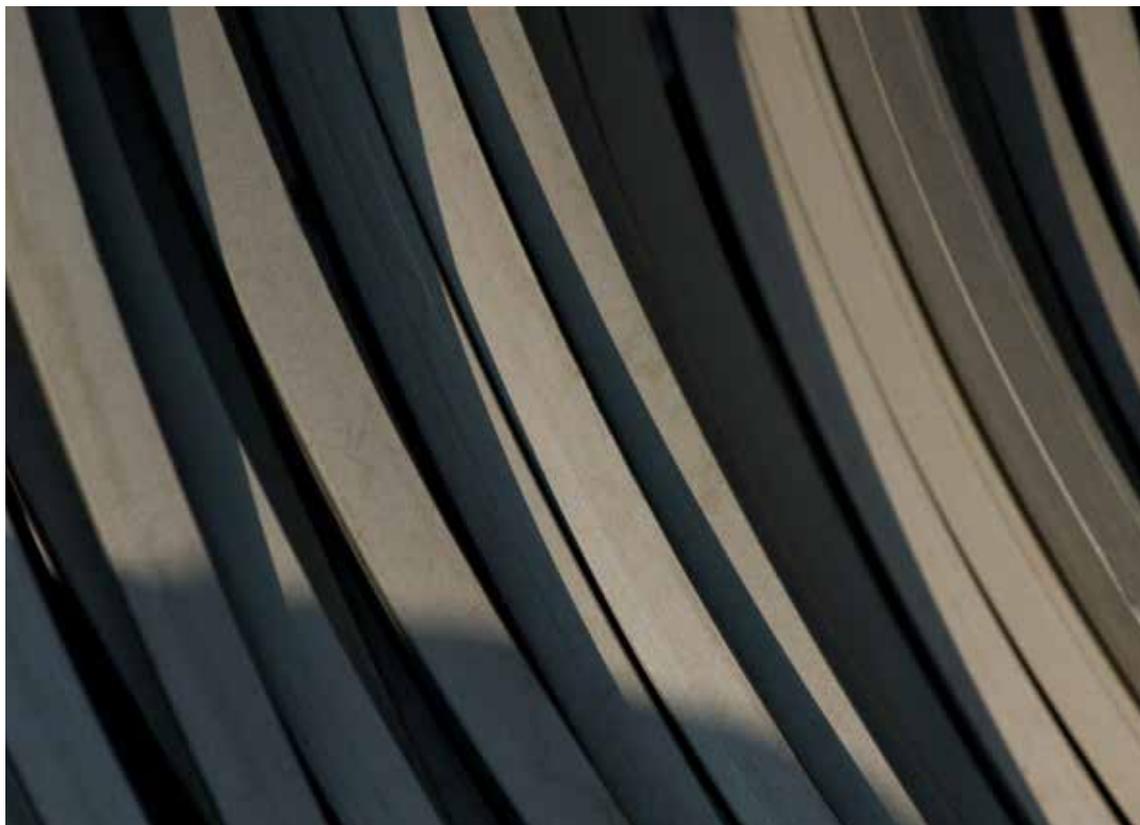
R	N/mm ²	1490	1450	1420	1410	1430	1450	1420	1150	860	740	690
Rp 0.2	N/mm ²	1210	1170	1150	1150	1160	1180	1140	870	650	550	500
A	%	10.8	10.8	10.9	12.0	12.5	13.0	16.0	16.5	18.0	20.0	21.5
Kv	J	25	30	26	19	18	17	18	20	31	49	90
Rinvenimento °C		200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700

Tabella di incrudimento (laminato a caldo +QT+C). Valori indicativi

R	N/mm ²	720	740	760	770	780	785	800	820	830	835	840
Rp 0.2	N/mm ²	480	625	630	650	660	680	700	730	735	750	760
A	%	19	18	18	16	16	16	15	15	14	14	14
Riduzione %		0	7	8	10	11	12	13	14	15	16	17



X12CrS13 n° 1.4005 martensitico		Lucefin Group							
Espansione termica	$10^{-6} \cdot K^{-1}$	►	10.5	11.0	11.5	12.0	12.2	12.7	
Modulo elastico	longitudinale	GPa	215	212	205	200	190		
Numero di Poisson	ν		0.235	0.210					
Resistività elettrica	$\Omega \cdot mm^2/m$		0.60						
Conduttività elettrica	Siemens·m/mm ²		1.67						
Calore specifico	J/(Kg·K)		460						
Densità	Kg/dm ³		7.70						
Conducibilità termica	W/(m·K)		30						
Permeabilità magnetica relativa	μ_r		900 ¹⁾						
°C			20	100	200	300	400	600	800
Il simbolo ► indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C									
¹⁾ 900 max per materiale allo stato naturale, 750 max per materiale con ricottura completa.									
Resistenza alla corrosione	Atmosfera		Azione chimica			x			
Acqua dolce	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>	vapore, benzina, nafta, alcool, ammoniaca			
x									
Magnetico	si								
Truciolabilità	alta								
Indurimento	mediante tempra								
Temperatura di servizio in aria	fino a 675 °C in servizio continuo e 760 °C in servizio intermittente								
Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea		
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS		
X12CrS13	S41600	416	Y1Cr13		SUS 416		STS 416		



Qualità materiale	X12Cr13	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4006	Martensitico	<i>Lucefina Group</i>

Composizione chimica

C%	Si% max	Mn% max	P% max	S% ^{a)} max	Cr%	Ni% max	
0,08-0,15	1,00	1,50	0,040	0,015	11,5-13,5	0,75	EN 10088-1: 2005
± 0.01	+ 0.05	± 0.04	+ 0.005	+ 0.003	± 0.15	± 0.03	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

^{a)} Per migliorare la truciolabilità è permesso zolfo 0,015% - 0,030%; per la lucidabilità è raccomandato un tenore di zolfo 0,015% max.

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Ricristallizzazione +RA	Ricottura di lavorabilità +A	Ricottura completa	Saldatura MMA elettrodi AWS
1530-1480	1190-900	non adatta	825-745 aria	870-840 raffr. 15 °C/h fino a 590 poi aria	<i>preriscaldamento</i> 200 <i>ricottura dopo s.</i> 750-700
Ricottura isoterma +I	Tempra +Q	Rinvenimento +T	Distensione +SR		giunzione con acciai
885-830 raffr. controllato fino a 705 poi aria	1000-950 olio / polimero (HRC 36 ~)	780-650 veloce in aria forzata	200 aria		carbonio legati CrMo inossidabili E60 xx E8018-B 2 E309 – E308 <i>riparazione o riporto della base</i> E410

Temperature di trasformazioni in fase di riscaldamento **Ac1** ~ 810, **Ac3** ~ 885 e in fase di raffreddamento **Ms** ~ 340, **Mf** ~ 190

Trattamento chimico - Decapaggio (20 - 50% HNO₃) a caldo o a freddo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione mm	Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					
oltre fino a	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	HB ^{a)}	^{a)} solo per informazione
	N/mm ²	N/mm ² min	min	J min	max	
	730 max				220	+A materiale ricotto
160	650-850	450	15	25		+QT650 materiale bonificato

Barre trasformate a freddo di acciai trattati termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 2H, 2B, 2G, 2P

sezione mm	Prova di trazione in longitudinale a +20 °C						
oltre fino a	R	HB ^{a)}	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	
	N/mm ² max	max	N/mm ²	N/mm ² min	min	J min	
10 ^{b)}	880	280	700-1000	550	9		
10	16	880	700-1000	500	9		
16	40	800	650-930	450	10	25	
40	63	760	650-880	450	10	25	
63	160	730	650-850	450	15	25	
		+A materiale ricotto					+QT650 materiale bonificato

^{a)} solo per informazione

^{b)} nella gamma 1 mm ≤ d < 5 mm i valori sono validi solo per i tondi - le proprietà meccaniche delle barre non tonde con spessore < 5 mm devono essere concordate al momento della richiesta e dell'ordine

Fucinato EN 10250-4: 2001

sezione mm	Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					
oltre fino a	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	HB	
	N/mm ²	N/mm ² min	min	J min	max	
	730 max				220	+A ricotto
160	650-850	450	15	25		+QT650 bonificato

Tabella di rinvenimento valori a temperatura ambiente su tondo Ø 10 mm dopo tempra a 980 °C in olio

R	N/mm ²	1490	1450	1420	1410	1430	1450	1420	1150	860	740	690
Rp 0.2	N/mm ²	1210	1170	1150	1150	1160	1180	1140	870	650	550	500
A	%	10.8	10.8	10.9	12.0	12.5	13.0	16.0	16.5	18.0	20.0	21.5
Kv	J	35	40	36	29	28	27	28	30	41	49	100
Rinvenimento	°C	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700

Curva di transizione determinata con resilienze Kv. Materiale temprato a 970 °C in olio

Valore medio	J	6	16	26	50	80	120	140	150	170	rinvenimento a 790 °C	690
Valore medio	J	5	12	18	26	50	84	110	114	140	rinvenimento a 665 °C	820
Valore medio	J	4	6	8	14	26	36	76	78	120	rinvenimento a 595 °C	950
Prove a	°C	-160	-120	-80	-40	0	+40	+80	+100	+200	resistenza a rottura	N/mm²



Tabella di incrudimento (laminato a caldo +A+C). Valori indicativi. Incremento valore di rottura: ~ 6,2 N/mm² ogni 1% di riduzione

R	N/mm ²	580	650	700	750	790	800	850	920	1050
Rp 0.2	N/mm ²	380	500	580	600	690	720	780	810	900
A	%	20	10	8	8	8	8	8	8	7
Riduzione %		0	10	20	30	40	50	60	70	80

Valori minimi di snervamento a temperature elevate su materiale bonificato EN 10088-3: 2005

Rp 0.2	N/mm ²	420	410	400	385	365	355	305	+QT 650
Prova a	°C	100	150	200	250	300	350	400	

Espansione termica	10 ⁻⁶ · K ⁻¹	▶	10.5	11.0	11.5	12.0
Modulo elastico	longitudinale GPa	215	212	205	200	190
Numero di Poisson	ν	0.235	0.210			
Resistività elettrica	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	0.60				
Conduttività elettrica	Siemens·m/mm ²	1.67				
Calore specifico	J/(Kg·K)	460				
Densità	Kg/dm ³	7.70				
Conducibilità termica	W/(m·K)	30				
Permeabilità magnetica relativa	μ_r	900 ¹⁾				
°C		20	100	200	300	400

Il simbolo ▶ indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C

¹⁾ 900 max per materiale allo stato naturale, 750 max per materiale con ricottura completa.

Resistenza alla corrosione	Atmosfera	Azione chimica	x
Acqua dolce	<i>industriale marina</i>	<i>media ossidante riducente</i>	x petrolio, benzina, alcool, ammoniaca, mercurio, alimenti
x		x	

Magnetico	si
Truciolabilità	buona su materiale ricotto e bonificato
Indurimento	mediante tempra
Temperatura di servizio in aria	fino a 705 °C in servizio continuo e 815 °C in servizio intermittente

Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
X12Cr13	S41000	410	1Cr12	12Ch13	SUS 410	X12Cr12	STS 410



Qualità materiale	X6Cr17	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4016	Ferritico	<i>Lucefin Group</i>

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S% ^{a)}	Cr%
max	max	max	max	max	
0,08	1,00	1,00	0,040	0,030	16,0-18,0
± 0.01	+ 0.05	+ 0.03	+ 0.005	± 0.005	± 0.2

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

^{a)} Per la lucidabilità è raccomandato un tenore di zolfo 0,015% max.

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Ricristallizzazione +RA	Ricottura di lavorabilità +A	Saldatura MMA elettrodi AWS
1510-1425	1120-850	810-700 raffr. fino a 300 poi aria	850-750 aria	<i>preiscaldamento</i> 200 <i>ricottura dopo s.</i> 800-750
Ricottura isoterma +I	Tempra +Q	Rinvenimento +T	<i>giunzione con acciai</i>	
non adatta	non adatta	non adatto	carbonio legati CrMo inossidabili	
			E60 xx E8018-B 2 E309 – E308	
			<i>riparazione o riporto della base</i>	
			E430	

Trattamento chimico - Decapaggio (20 - 50% HNO₃) + (2 - 6% Na₂Cr₂O₇·2H₂O) a caldo o a freddo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione mm	Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					
	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	HB ^{a)}	^{a)} solo per informazione
oltre fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min	J min	max	
100	400-630	240	20		200	+A ricotto

Barre trasformate a freddo di acciai trattati termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 2H, 2B, 2G, 2P

sezione mm	Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					
	R	HB	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C
oltre fino a	N/mm ²	max	N/mm ²	N/mm ² min	min	J min
10 ^{b)}			500-750	320	8	
16			480-750	300	8	
40			400-700	240	15	
63			400-700	240	15	
100			400-630	240	20	

+A materiale ricotto

^{b)} nella gamma 1 mm ≤ d < 5 mm i valori sono validi solo per i tondi - le proprietà meccaniche delle barre non tonde con spessore < 5 mm devono essere concordate al momento della richiesta e dell'ordine

Fucinato EN 10250-4: 2001

sezione mm	Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					
	R	Rp 0.2	A%	C%	Kv +20 °C	HB
oltre fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min	min	J min	max
100	400-630	240				200

+A materiale ricotto

Tabella di incrudimento (laminato a caldo +RA+C). Valori indicativi. Incremento valore di rottura: ~ 4,8 N/mm² ogni 1% di riduzione

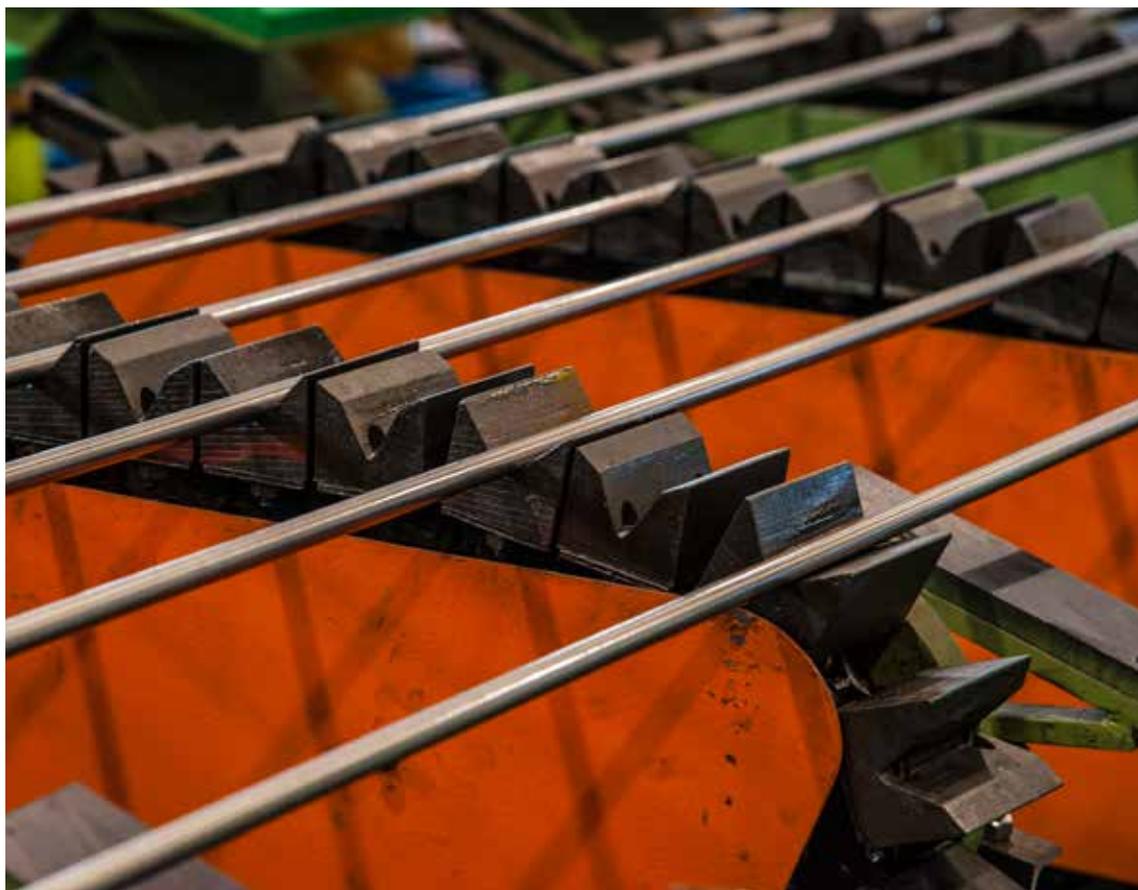
R	N/mm ²	550	620	680	700	720	770	790	820	860
Rp 0.2	N/mm ²	320	500	590	620	650	680	700	750	800
A	%	22	11	10	9	9	9	9	9	9
Riduzione	%	0	10	20	30	40	50	60	70	75

Valori minimi di snervamento a temperature elevate EN 10088-3: 2005

Rp 0.2	N/mm ²	220	215	210	205	200	195	190	+A materiale ricotto
Prova a	°C	100	150	200	250	300	350	400	



X6Cr17 n° 1.4016 ferritico				Lucefin Group					
Espansione termica	$10^{-6} \cdot K^{-1}$	►		10.0	10.5	10.5	10.5	11.0	12.0
Modulo elastico	longitudinale	GPa	220	215	210	205	195		
Numero di Poisson	ν		0.144	0.138					
Resistività elettrica	$\Omega \cdot mm^2/m$		0.60		0.77		0.93	1.05	1.25
Conduttività elettrica	Siemens·m/mm ²		1.67						
Calore specifico	J/(Kg·K)		460		495		570	660	760
Densità	Kg/dm ³		7.75						
Conducibilità termica	W/(m·K)		25						
Permeabilità magnetica relativa	μ_r		600-1000 ~						
°C			20	100	200	300	400	600	800
Il simbolo ► indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C									
Resistenza alla corrosione	Atmosfera			Azione chimica			x fenolo, alimenti, detergenti domestici, deboli acidi organici		
Acqua dolce	<i>industriale</i> <i>marina</i>		<i>media</i> <i>ossidante</i> <i>riducente</i>						
x	x		x x						
Magnetico	sì								
Truciolabilità	buona								
Indurimento	trafilatura e altre deformazioni plastiche a freddo								
Temperatura di servizio in aria	fino a 800 °C in servizio continuo e 875 °C in servizio intermittente								
Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea		
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS		
X6Cr17	S43000	430	1Cr17	12Ch17	SUS 430	X07Cr17	STS 430		



Qualità materiale	X20Cr13	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4021	Martensitico	<i>Lucefin Group</i>

Composizione chimica

C%	Si% max	Mn% max	P% max	S% ^{a)} max	Cr%	
0,16-0,25	1,00	1,50	0,040	0,015	12,0-14,0	EN 10088-1: 2005
± 0.01	+ 0.05	+ 0.04	+ 0.005	+ 0.003	± 0.15	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

^{a)} Per migliorare la truciolabilità è permesso zolfo 0,015% - 0,030%; per la lucidabilità è raccomandato un tenore di zolfo 0,015% max.

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Ricristallizzazione +RA	Ricottura di lavorabilità +A	Ricottura completa	Saldatura MMA elettrodi AWS
1510-1460	1200-930	non adatta	825-745 aria	900-870 raffr. 15 °C/h fino a 590 poi aria	<i>preriscaldamento ricottura dopo s.</i> 250-200 750
Ricottura isoterma +I	Tempra +Q	Rinvenimento +T	Distensione +SR		<i>giunzione con acciai carbonio legatiCrMo inossidabili</i> E60 xx E8018-B 2 E309 <i>riparazione o riporto della base</i> E420 - E410
885-830 raffr. controllato fino a 705 poi aria	1050-950 olio/polimero aria (HRC 46 ~)	700-650 veloce in aria forzata	250-150 aria		

Temperature di trasformazioni in fase di riscaldamento **Ac1** ~ 790, **Ac3** ~ 850 e in fase di raffreddamento **Ms** ~ 240, **Mf** ~ 90

Trattamento chimico - Decapaggio (20 - 50% HNO₃) a caldo o a freddo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione mm		Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					HB ^{a)}	^{a)} solo per informazione
oltre	fino a	R	Rp _{0.2}	A%	Kv +20 °C			
		N/mm ²	N/mm ² min	min	J min	max		
		760 max				230	+A ricotto	
	160	700-850	500	13	25		+QT700 bonificato	
	160	800-950	600	12	20		+QT800 bonificato	

Barre trasformate a freddo di acciai trattati termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 2H, 2B, 2G, 2P

sezione mm		Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					
oltre	fino a	R	Rp _{0.2}	A%	Kv +20 °C	HB ^{a)}	
		N/mm ² max	N/mm ² min	min	J min	max	
	10 ^{b)}	910		290		750-1000	
	10	910		290		750-1000	
	16	850		260		700-950	
	40	800		230		700-900	
	63	760		220		700-850	
							+A materiale ricotto
							+QT700 materiale bonificato

^{a)} solo per informazione. ^{b)} nella gamma 1 mm ≤ d < 5 mm i valori sono validi solo per i tondi - le proprietà meccaniche delle barre non tonde con spessore < 5 mm devono essere concordate al momento della richiesta e dell'ordine

Fucinato EN 10250-4: 2001

sezione mm		Prova di trazione in longitudinale a +20 °C				
oltre	fino a	R	Rp _{0.2}	A%	Kv +20 °C	HB
		N/mm ²	N/mm ² min	min	J min	max
		760 max				230
	160	700-850	500	13	25	
	160	800-950	600	12	20	

Tabella di rinvenimento valori a temperatura ambiente su tondo Ø 10 mm dopo tempra a 970 °C in olio

R	N/mm ²	1650	1550	1540	1530	1530	1500	1200	900	790	600
Rp_{0.2}	N/mm ²	1320	1280	1260	1250	1230	1180	980	680	600	560
A	%	12	11	10.5	10.5	11	12	15	17	18	20
Kv	J	25	22	18	12	10	12	18	32	36	60
Rinvenimento °C		200	300	350	400	450	500	550	600	650	700

Tabella di incrudimento (laminato a caldo +A+C). Valori indicativi

R	N/mm ²	580	650	670	680	685	690	720	745	760
Riduzione %		0	8	10	12	14	16	18	20	22



Tabella di incrudimento (laminato a caldo +QT+C). Valori indicativi

R	N/mm ²	760	810	830	840	855	870	880	895
Rp 0.2	N/mm ²	570	740	770	780	795	800	820	830
A	%	18	16	15	15	14	13	12	11
Riduzione %		0	8	10	12	14	16	18	20

Valori minimi di snervamento a temperature elevate EN 10088-3: 2005

Rp 0.2	N/mm ²	460	445	430	415	395	365	330	materiale +QT700
Rp 0.2	N/mm ²	515	495	475	460	440	405	355	materiale +QT800
Prova a	°C	100	150	200	250	300	350	400	

Espansione termica	10 ⁻⁶ · K ⁻¹	▶	10.5	11.0	11.5	12.0	
Modulo elastico	longitudinale GPa	215	212	205	200	190	
Numero di Poisson	ν	0.235	0.210				
Resistività elettrica	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	0.60					
Conduttività elettrica	Siemens·m/mm ²	1.67					
Calore specifico	J/(Kg·K)	460					
Densità	Kg/dm ³	7.70					
Conducibilità termica	W/(m·K)	30		31			
Permeabilità magnetica relativa	μ_r	950					
°C		20	100	200	300	400	

Il simbolo ▶ indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C

¹⁾ 950 max per materiale con ricottura completa.

Resistenza alla corrosione	Atmosfera		Azione chimica			x ambienti aggressivi privi di sostanze cloro- derivate
Acqua dolce	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>	
x						

Magnetico	sì
Truciolabilità	buona
Indurimento	mediante tempratura
Temperatura di servizio in aria	fino a 650 °C in servizio continuo e 750 °C in servizio intermittente

Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
X20Cr13	S42000	(420)	2Cr13	20Ch13	SUS 420J1		STS 420J1



Qualità materiale	X30Cr13	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4028	Martensitico	<i>Lucefin Group</i>

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S% ^{a)}	Cr%	
	max	max	max	max		
0,26-0,35	1,00	1,50	0,040	0,015	12,0-14,0	EN 10088-1: 2005
± 0.02	+ 0.05	+ 0.04	+ 0.005	+ 0.003	± 0.15	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

^{a)} Per migliorare la truciolabilità è permesso zolfo 0,015% - 0,030%; per la lucidabilità è raccomandato un tenore di zolfo 0,015% max.

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Ricristallizzazione +RA	Ricottura di lavorabilità +A	Ricottura completa	Saldatura MMA elettrodi AWS
1490-1480	1200-930	non adatta	825-745 aria	non adatta	<i>preriscaldamento</i> 300 <i>ricottura dopo s.</i> 750
Ricottura isoterma +I	Tempra +Q	Rinvenimento +T	Rinvenimento +T	Distensione +SR	<i>giunzione con acciai</i>
non adatta	1080-980 olio/aria	200-150 veloce in aria (HRC 50 ~)	675-625 aria (HRC 24-31)	300-200 aria	carbonio legati CrMo inossidabili E70 xx E8018-B 2 E309 - E308 <i>riparazione o riporto della base</i> E309 - E420

Temperature di trasformazioni in fase di riscaldamento **Ac1** ~ 785, **Ac3** ~ 885 e in fase di raffreddamento **Ms** ~ 280, **Mf** ~ 130

Trattamento chimico - Decapaggio (20 - 50% HNO₃) a caldo o a freddo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione mm		Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					HB ^{a)}	^{a)} solo per informazione
oltre	fino a	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C			
		N/mm ²	N/mm ² min	min	J min	max		
	800 max					245	+A ricotto	
	160	850-1000	650	10	15		+QT850 bonificato	

Barre trasformate a freddo di acciai trattati termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 2H, 2B, 2G, 2P

sezione mm		Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C
oltre	fino a	R	HB ^{a)}				N/mm ²	N/mm ² min	min	J min
	10 ^{b)}	950	305				900-1050	700	7	
	10	16	950	305			900-1150	650	7	
	16	40	900	280			850-1100	650	9	15
	40	63	840	260			850-1050	650	9	15
	63	160	800	245			850-1000	650	10	15
			+A materiale ricotto				+QT850 materiale bonificato			

^{a)} solo per informazione

^{b)} nella gamma 1 mm ≤ d < 5 mm i valori sono validi solo per i tondi - le proprietà meccaniche delle barre non tonde con spessore < 5 mm devono essere concordate al momento della richiesta e dell'ordine

Fucinato EN 10250-4: 2001

sezione mm		Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					HB
oltre	fino a	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C		
		N/mm ²	N/mm ² min	min	J min	max	
	800 max					245	
	160	850-1000	650	10			
							+A ricotto
							+QT850 bonificato

Tabella di rinvenimento valori a temperatura ambiente su tondo Ø 10 mm dopo tempra a 1000 °C in olio

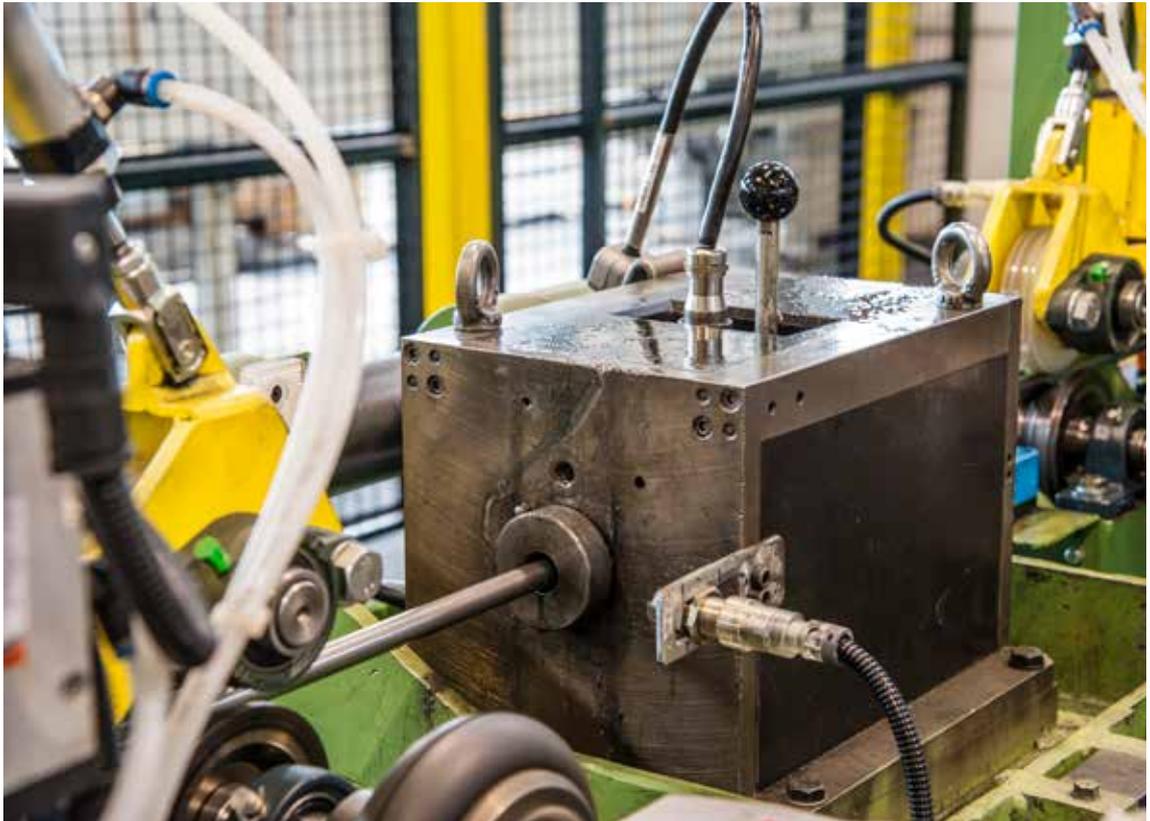
R	N/mm ²	1700	1650	1630	1630	1620	1600	1350	1000	850	800
Rp 0.2	N/mm ²	1400	1380	1360	1350	1340	1300	1100	790	650	600
A	%	9	10	10	9	9	10	11	12	15	18
Kv	J	18	20	18	14	12	12	16	22	32	40
Rinvenimento °C		200	300	350	400	450	500	550	600	650	700

Tabella di incrudimento (laminato a caldo +A+C). Valori indicativi

R	N/mm ²	700	780	850	900	950	1000			
Rp 0.2	N/mm ²	500	620	680	720	750	780	800	880	960
A	%	20	13	12	11	11	11	10	10	10
Riduzione %		0	10	20	30	40	50	60	70	80



X30Cr13 n° 1.4028 martensitico				Lucefin Group				
Espansione termica	$10^{-6} \cdot K^{-1}$	►		10.5	11.0	11.5	12.0	12.6
Modulo elastico	longitudinale	GPa	215	212	205	200	190	
Numero di Poisson	ν		0.235	0.210				
Resistività elettrica	$\Omega \cdot mm^2/m$		0.65					
Conduttività elettrica	Siemens	$\cdot m/mm^2$	1.54					
Calore specifico	J/(Kg·K)		460					
Densità	Kg/dm ³		7.70					
Conducibilità termica	W/(m·K)		30					
Permeabilità magnetica relativa	μ_r		700-1000 ~					
°C			20	100	200	300	400	600
Il simbolo ► indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C								
Resistenza alla corrosione	Atmosfera		Azione chimica			x ruggine, acido nitrico diluito, deboli acidi organici		
Acqua dolce	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>			
x								
Magnetico	sì							
Truciolabilità	ottima							
Indurimento	mediante tempratura							
Temperatura di servizio in aria	fino a 650 °C in servizio continuo e 750 °C in servizio intermittente							
Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea	
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS	
X30Cr13	S42020	(420)	3Cr13	30Ch13	SUS 420J2	(X30Cr13)	STS 420J2	



X39Cr13 n° 1.4031 martensitico				Lucefin Group			
Espansione termica	$10^{-6} \cdot K^{-1}$	►		10.5	11.0	11.5	12.0
Modulo elastico	longitudinale	GPa	215	212	205	200	190
Numero di Poisson	ν		0,27-0,30 ~				
Resistività elettrica	$\Omega \cdot mm^2/m$		0.55				
Conduttività elettrica	Siemens.m/mm ²		1.82				
Calore specifico	J/(Kg.K)		460				
Densità	Kg/dm ³		7.70				
Conducibilità termica	W/(m.K)		30				
Permeabilità magnetica relativa	μ_r		700-1000 ~				
°C			20	100	200	300	400
Il simbolo ► indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C							
Resistenza alla corrosione	Atmosfera		Azione chimica			x plastiche corrosive, acido nitrico diluito, deboli acidi organici	
Acqua dolce	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>		
x							
Magnetico	sì						
Truciolabilità	media						
Indurimento	mediante tempratura						
Temperatura di servizio in aria	fino a 620 °C in servizio continuo e 735 °C in servizio intermittente						
Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
X39Cr13		(420)	4Cr13	(40Ch13)		(X40Cr13)	



Qualità materiale	X46Cr13	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4034	Martensitico	<i>Lucefin Group</i>

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S% ^{a)}	Cr%	
	max	max	max	max		
0,43-0,50	1,00	1,00	0,040	0,015	12,5-14,5	EN 10088-1: 2005
± 0.02	+ 0.05	+ 0.03	+ 0.005	+ 0.003	± 0.15	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

^{a)} Per migliorare la truciolabilità è permesso zolfo 0,015% - 0,030%; per la lucidabilità è raccomandato un tenore di zolfo 0,015% max.

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Ricristallizzazione +RA	Ricottura di lavorabilità +A	Saldatura MMA elettrodi AWS
1480-1470	1180-930	non adatta	850-750 raffreddamento lento fino a 600 poi aria	<i>preiscaldamento</i> 250-200 <i>ricottura dopo s.</i> 750
Tempra +Q	Rinvenimento +T	Distensione +SR	Distensione dopo +C	giunzione con acciai
1050-950 olio / aria (HRC 50 ~)	700-650 veloce in aria forzata	200 aria	650-600 raffreddamento in forno	carbonio legati CrMo inossidabili E70 xx E8016-B 2 E309-E308 <i>riparazione o riporto della base</i> E420

Temperature di trasformazioni in fase di riscaldamento **Ac1** ~ 805, **Ac3** ~ 870 e in fase di raffreddamento **Ms** ~ 280, **Mf** ~ 130

Trattamento chimico - Decapaggio (20 - 50% HNO₃) a caldo o a freddo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione mm	Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					
oltre fino a	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	HB ^{a)}	^{a)} solo per informazione
	N/mm ²	N/mm ² min	min	J min	max	
oltre fino a	800 max				245	+A ricotto
160	850-1000	650	10	12		+QT850 bonificato

Barre trasformate a freddo di acciai trattati termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 2H, 2B, 2G, 2P

sezione mm	Prova di trazione in longitudinale a +20 °C						
oltre fino a	R	HB ^{a)}	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	
	N/mm ² max	max	N/mm ²	N/mm ² min	min	J min	
oltre fino a	10 ^{b)}	950	305	700	7		
10	16	950	305	900-1150	700	7	
16	40	900	280	900-1150	700	7	
40	63	840	260	850-1100	650	8	12
63	160	800	245	850-1000	650	8	12
				850-1000	650	10	12
		+A materiale ricotto					+QT850 materiale bonificato

^{a)} solo per informazione

^{b)} nella gamma 1 mm ≤ d < 5 mm i valori sono validi solo per i tondi - le proprietà meccaniche delle barre non tonde con spessore < 5 mm devono essere concordate al momento della richiesta e dell'ordine

Fucinato

sezione mm	Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					
oltre fino a	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	HB ^{a)}	
	N/mm ²	N/mm ² min	min	J min	max	
oltre fino a					245	+A ricotto

^{a)} solo per informazione

Tabella di rinvenimento valori a temperatura ambiente su tondo Ø 10 mm dopo tempra a 1000 °C in olio

R	N/mm ²	1800	1700	1700	1690	1680	1640	1300	1000	840	750
Rp 0.2	N/mm ²	1400	1320	1300	1300	1290	1250	1000	700	600	550
A	%	6	8	8	9	9	10	11	13	16	16
Kv	J	14	20	18	14	12	12	14	20	28	40
Rinvenimento °C		200	300	350	400	450	500	550	600	650	700

Tabella di incrudimento (laminato a caldo +A+C). Valori indicativi

R	N/mm ²	650	750	755	760	770	795	805	835	900	930	960
Riduzione %		0	5	6	8	10	15	18	20	25	30	36



X46Cr13 n° 1.4034 martensitico		Lucefin Group					
Espansione termica	$10^{-6} \cdot K^{-1}$	►	10.5	11.0	11.5	12.0	
Modulo elastico	longitudinale GPa	215	212	205	200	190	
Numero di Poisson	ν	0.235					
Resistività elettrica	$\Omega \cdot mm^2/m$	0.55					
Conduttività elettrica	Siemens·m/mm ²	1.82					
Calore specifico	J/(Kg·K)	460					
Densità	Kg/dm ³	7.70					
Conducibilità termica	W/(m·K)	30					
Permeabilità magnetica relativa	μ_r	700 ~					
°C		20	100	200	300	400	
Il simbolo ► indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C							
Resistenza alla corrosione	Atmosfera		Azione chimica			x ruggine, acido nitrico diluito e in stato passivo deboli acidi organici	
Acqua dolce	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>		
x							
Magnetico	sì						
Truciolabilità	buona allo stato ricotto						
Indurimento	mediante tempratura						
Temperatura di servizio in aria	fino a 650 °C in servizio continuo e 750 °C in servizio intermittente						
Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
X46Cr13		(420)		(4Ch13)			



Qualità materiale	1.4034 DE	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	(1.4034)	Martensitico	<i>Lucefina Group</i>

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	
0,43-0,46	max 1,00	max 1,00	max 0,040	0,018-0,026	12,5-14,5	EN 10088-1: 2005
± 0.02	+ 0.05	+ 0.03	+ 0.005	± 0.005	± 0.15	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.
 Micropurezza K3 max 50, solo ossidi, Norma DIN 50602
 Struttura dei carburi max CZ 7.1 Norma SEP 1520

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Ricristallizzazione +RA	Ricottura di lavorabilità +A	Saldatura MMA elettrodi AWS
1480-1470	1050-930	non adatta	800-750 raffreddamento lento fino a 600 poi aria	<i>preriscaldamento</i> 250-200 <i>ricottura dopo s.</i> 750-700
Ricottura globulare (Sferoidale) +AC	Tempra +Q	Rinvenimento +T	Distensione +SR	giunzione con acciai
800 raffreddamento in forno fino a 600 poi aria (HB max 210)	1030-980 olio / aria	650-600 veloce in aria forzata	200 aria (HRC 52)	carbonio legati CrMo inossidabili E70 xx E8016-B 2 E309-E308 <i>riparazione o riporto della base</i> E420

Trattamento chimico - Decapaggio (20 - 50% HNO₃) a caldo o a freddo

Proprietà meccaniche (come valori di riferimento vengono dati quelli dell'acciaio X46Cr13 n° 1.4034)

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D						
sezione Prova di trazione in longitudinale a +20 °C						
mm	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	HB a)	a) solo per informazione
oltre fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min	J min	max	
	800 max				245	+A ricotto
160	850-1000	650	10	12		+QT850 bonificato

Barre trasformate a freddo di acciai trattati termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 2H, 2B, 2G, 2P

sezione Prova di trazione in longitudinale a +20 °C						
mm	R	HB a)	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	
oltre fino a	N/mm ² max	max	N/mm ² min	min	J min	
10 ^{b)}	950	305				
10	16	950	305			
16	40	900	280			
40	63	840	260			
63	160	800	245			
	+A materiale ricotto		+QT850 materiale bonificato			

a) solo per informazione

b) nella gamma 1 mm ≤ d < 5 mm i valori sono validi solo per i tondi - le proprietà meccaniche delle barre non tonde con spessore < 5 mm devono essere concordate al momento della richiesta e dell'ordine

Fucinato

sezione Prova di trazione in longitudinale a +20 °C						
mm	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	HB a)	
oltre fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min	J min	max	
					245	+A ricotto

a) solo per informazione

Tabella di rinvenimento valori a temperatura ambiente su tondo Ø 10 mm dopo tempra a 1000 °C in olio

R	N/mm ²	1800	1700	1700	1690	1680	1640	1300	1000	840	750
Rp 0.2	N/mm ²	1400	1320	1300	1300	1290	1250	1000	700	600	550
A	%	6	8	8	9	9	10	11	13	16	16
Kv	J	14	20	18	14	12	12	14	20	28	40
Rinvenimento °C		200	300	350	400	450	500	550	600	650	700

Tabella di incrudimento (laminato a caldo +A+C). Valori indicativi

R	N/mm ²	650	750	755	760	770	795	805	835	900	930	960
Riduzione %		0	5	6	8	10	15	18	20	25	30	36



n° 1.4034 DE martensitico		Lucefin Group					
Espansione termica	$10^{-6} \cdot K^{-1}$	▶	11.0	11.7	12.3		
Modulo elastico	longitudinale	GPa	206				
Numero di Poisson	ν		0.235				
Resistività elettrica	$\Omega \cdot mm^2/m$		0.60				
Conduttività elettrica	Siemens	m/mm^2	1.82				
Calore specifico	J/(Kg·K)		460				
Densità	Kg/dm ³		7.70				
Conducibilità termica	W/(m·K)		30				
Permeabilità magnetica relativa	μ_r		700 ~				
°C			20	100	200	300	400 600
Il simbolo ▶ indica fra 20 °C e 200 °C, 20 °C e 400 °C							
Resistenza alla corrosione	Atmosfera		Azione chimica			x materie plastiche, deboli acidi organici, petrolio, benzina	
Acqua dolce	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>		
x							
Magnetico	sì						
Truciolabilità	buona						
Indurimento	mediante tempratura						
Temperatura di servizio in aria	fino a 650 °C in servizio continuo e 750 °C in servizio intermittente						
Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS



Qualità materiale	X46CrS13	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4035	Martensitico	<i>Lucefin Group</i>

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	
0,43-0,50	max 1,00	max 2,00	max 0,040	0,15-0,35	12,5-14,0	EN 10088-1: 2005
± 0.02	+ 0.05	+ 0.04	+ 0.005	± 0.02	± 0.15	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Ricristallizzazione +RA	Ricottura di lavorabilità +A	Saldatura MMA elettrodi AWS
1480-1460	1100-930	non adatta	850-750 raffreddamento lento fino a 600 poi aria	<i>preriscaldamento</i> <i>ricottura dopo s.</i> sconsigliata
Tempra +Q	Rinvenimento +T	Distensione +SR		
1050-950 olio / aria	675-625 veloce in aria forzata	200 aria		<i>giunzione con acciai</i> carbonio legati CrMo inossidabili <i>riparazione o riporto della base</i>

Temperature di trasformazioni in fase di riscaldamento **Ac1** ~ 805, **Ac3** ~ 870 e in fase di raffreddamento **Ms** ~ 280, **Mf** ~ 130

Trattamento chimico - Decapaggio (20 - 50% HNO₃) a caldo o a freddo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione	Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					
mm	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	HB a)	a) solo per informazione
oltre fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min	J min	max	
63	800 max				245	+A ricotto

Barre trasformate a freddo di acciai trattati termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 2H, 2B, 2G, 2P

sezione	Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					
mm	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	HB a)	
oltre fino a	N/mm ² max	max		J min		
10 ^{b)}	880	280				
10	880	280				
16	800	250				
40	760	230				

+A materiale ricotto

a) solo per informazione

b) nella gamma 1 mm ≤ d < 5 mm i valori sono validi solo per i tondi - le proprietà meccaniche delle barre non tonde con spessore < 5 mm devono essere concordate al momento della richiesta e dell'ordine

Fucinato

sezione	Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					
mm	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	HB a)	
oltre fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min	J min	max	
					245	+A ricotto

a) solo per informazione

Tabella di rinvenimento valori a temperatura ambiente su tondo Ø 10 mm dopo tempra a 1000 °C in olio

A titolo indicativo sono riportate quelle dell'acciaio 1.4034

R	N/mm ²	1800	1700	1700	1690	1680	1640	1300	1000	840	750
Rp 0.2	N/mm ²	1400	1320	1300	1300	1290	1250	1000	700	600	550
A	%	6	8	8	9	9	10	11	13	16	16
Kv	J	14	20	18	14	12	12	14	20	28	40
Rinvenimento °C		200	300	350	400	450	500	550	600	650	700

Tabella di incrudimento (laminato a caldo +A+C). Valori indicativi

R	N/mm ²	640	710	740	760	830	840	860	880	895	920
Riduzione %		0	8	10	15	18	20	22	24	26	30



X46CrS13 n° 1.4035		martensitico		Lucefin Group			
Espansione termica	$10^{-6} \cdot K^{-1}$	►		10.5	11.0	11.5	12.0
Modulo elastico	longitudinale	GPa	215	212	205	200	190
Numero di Poisson	ν		0.235				
Resistività elettrica	$\Omega \cdot mm^2/m$		0.55				
Conduttività elettrica	Siemens·m/mm ²		1.82				
Calore specifico	J/(Kg·K)		460				
Densità	Kg/dm ³		7.70				
Conducibilità termica	W/(m·K)		30				
Permeabilità magnetica relativa	μ_r		700-1000 ~				
°C			20	100	200	300	400
Il simbolo ► indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C							
Resistenza alla corrosione	Atmosfera		Azione chimica			x acidi deboli, vapore, ammoniacca, petrolio, materie organiche	
Acqua dolce	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>		
x							
Magnetico	sì						
Truciolabilità	alta						
Indurimento	mediante tempra						
Temperatura di servizio in aria	fino a 600 °C in servizio continuo e 700 °C in servizio intermittente						
Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
X46CrS13							



Qualità materiale	X17CrNi16-2	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4057	Martensitico	<i>Lucefin Group</i>

Composizione chimica

C%	Si% max	Mn% max	P% max	S% ^{a)} max	Cr%	Ni%	
0,12-0,22	1,00	1,50	0,040	0,015	15,0-17,0	1,50-2,50	EN 10088-1: 2005
± 0.01	+ 0.05	± 0.04	+ 0.005	+ 0.003	± 0.20	± 0.07	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

^{a)} Per migliorare la truciolabilità è permesso zolfo 0,015% - 0,030%; per la lucidabilità è raccomandato un tenore di zolfo 0,015% max.

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Ricristallizzazione +RA	Ricottura di lavorabilità +A	Saldatura MMA elettrodi AWS
1510-1430	1200-930	non adatta	750-680 raffreddamento in forno 10 °C/h fino a 600 poi aria	<i>preiscaldamento ricottura dopo s.</i> 350 750
Ricottura isoterma +I	Tempra +Q	Rinvenimento +T	Distensione +SR	giunzione con acciai carbonio legatiCrMo inossidabili
non adatta	1030-980 olio / polimero aria (HRC 45 ~)	670-600 veloce in aria forzata	250-210 aria	E60-E309 E8016-B 2 E309-E308 <i>riparazione o riporto della base</i> E309 speciale

Temperature di trasformazioni in fase di riscaldamento **Ac1** ~ 725, **Ac3** ~ 815 e in fase di raffreddamento **Ms** ~ 145

Trattamento chimico - Decapaggio (20 - 50% HNO₃) a caldo o a freddo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione mm		Prova di trazione in longitudinale a +20 °C						
oltre	fino a	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	HB ^{a)}	^{a)} solo per informazione	
		N/mm ²	N/mm ² min	min	J min	max		
		950 max				295	+A materiale ricotto	
	60	800-950	600	14	25		+QT800 materiale bonificato (+T 780-800 °C)	
60	160	800-950	600	12	20		+QT900 materiale bonificato (+T 600-670 °C)	
60	60	900-1050	700	12	20			
60	160	900-1050	700	10	15			

Barre trasformate a freddo di acciai trattati termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 2H, 2B, 2G, 2P

sezione mm		Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					
oltre	fino a	R	HB ^{a)}	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C
		N/mm ²	max	N/mm ²	N/mm ² min	min	J min
	10 ^{b)}	1050	330	850-1100	750	7	
10	16	1050	330	850-1100	700	7	
16	40	1000	310	800-1050	650	9	25
40	63	850	295	800-1000	650	12	25
63	160	850	295	800-950	650	12	20
		+A materiale ricotto		+QT800 materiale bonificato			

^{a)} solo per informazione

^{b)} nella gamma 1 mm ≤ d < 5 mm i valori sono validi solo per i tondi - le proprietà meccaniche delle barre non tonde con spessore < 5 mm devono essere concordate al momento della richiesta e dell'ordine

Fucinato EN 10250-4: 2001

sezione mm		Prova di trazione in longitudinale a +20 °C						
oltre	fino a	R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	HB
		N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	max
	250	1000 max						295
	250	800-950	600	10	8	20	15	+A ricotto
	250	900-1050	700	10	8	15	10	+QT800 bonificato
								+QT900 bonificato

Tabella di rinvenimento valori a temperatura ambiente su tondo laminato Ø 10 mm dopo tempra a 1000 °C in olio

R	N/mm ²	1580	1490	1460	1440	1400	1360	1250	1080	910	800
Rp 0.2	N/mm ²	1290	1240	1220	1190	1130	1060	980	860	780	690
A %		14	15	15	14	14	15	16	17	18	19
Kv	J	20	22	27	18	10	18	27	30	34	38
Rinvenimento °C		200	300	350	400	450	500	550	600	650	700



Tabella di incrudimento (laminato a caldo +QT+C). Valori indicativi

R	N/mm ²	836	900	910	930	945	965	990	1000	1020
Rp 0.2	N/mm ²	720	754	792	820	804	880	910	920	950
A	%	23	18	16	14	14	14	14	13	13
Riduzione %		0	7	8	10	12	14	17	18	20

Valori minimi di snervamento a temperature elevate, materiale bonificato EN 10088-3: 2005

Rp 0.2	N/mm ²	515	495	475	460	440	405	355	+QT800	
Rp 0.2	N/mm ²	565	525	505	490	470	430	375	+QT900	
Prova a	°C	100	150	200	250	300	350	400		

Espansione termica	10 ⁻⁶ · K ⁻¹	▶		10.0	10.5	10.5	10.5			
Modulo elastico	longitudinale	GPa	215	212	205	200	190			
Numero di Poisson	ν		0.144	0.138						
Resistività elettrica	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$		0.70							
Conduttività elettrica	Siemens·m/mm ²		1.43							
Calore specifico	J/(Kg·K)		460		500		590	720	860	
Densità	Kg/dm ³		7.70							
Conducibilità termica	W/(m·K)		25							
Permeabilità magnetica relativa	μ_r		700-1100 ~							
°C			20	100	200	300	400	600	800	

Il simbolo ▶ indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C

Resistenza alla corrosione fra tutti i martensitici è quello che resiste meglio alla corrosione	Acqua dolce	Atmosfera		Azione chimica			x acido nitrico, acqua alcalina e di pozzo
		<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>	
	x	x	x	x			

Magnetico	sì
Truciolabilità	buona allo stato ricotto, media e in funzione della durezza del materiale allo stato bonificato
Indurimento	mediante tempra
Temperatura di servizio in aria	fino a 750 °C in servizio continuo e 800 °C in servizio intermittente

Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
X17CrNi16-2	S43100	431	1Cr17Ni2	14Ch17N2	SUS 431	15Cr16Ni2	STS 431



Qualità materiale	X14CrMoS17	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4104	Martensitico	<i>Lucefin Group</i>

Composizione chimica

C%	Si% max	Mn% max	P% max	S%	Cr%	Mo%	
0,10-0,17	1,00	1,50	0,040	0,15-0,35	15,5-17,5	0,20-0,60	EN 10088-1: 2005
± 0.01	+ 0.05	± 0.04	+ 0.005	± 0.02	± 0.2	± 0.03	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Ricristallizzazione +RA	Ricottura di lavorabilità +A	Saldatura MMA elettrodi AWS
1510-1430	1100-930	790-710 raffr. fino a 300 poi aria	850-750 aria	<i>preiscaldamento</i> <i>ricottura dopo s.</i> difficoltosa rivolgersi a produttori qualificati di elettrodi <i>giunzione con acciai</i> carbonio legati CrMo inossidabili E309 E309 E309 – E308 <i>riparazione o riporto della base</i> E309
Ricottura isoterma +I	Tempra +Q	Rinvenimento +T		
non adatta	1060-980 aria/olio/polimero	650-550 veloce in aria forzata		

Trattamento chimico - Decapaggio (20 - 50% HNO₃) + (2 - 6% Na₂Cr₂O₇.2H₂O) a caldo o a freddo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione		Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					
mm		R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	HB a)	a) solo per informazione
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min	J min	max	
		730 max				220	+A ricotto
	60	650-850	500	12			+QT650 bonificato
	60	160	650-850	500	10		+QT650 bonificato

Barre trasformate a freddo di acciai trattati termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 2H, 2B, 2G, 2P

sezione		Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					
mm		R	HB a)	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	
oltre	fino a	N/mm ²	max	N/mm ² min	min	J min	
	10 b)	880	280				
	10	16	880	280			
	16	40	800	250			
	40	63	760	230			
	63	100	730	220			
			+A materiale ricotto				+QT650 materiale bonificato

a) solo per informazione

b) nella gamma 1 mm ≤ d < 5 mm i valori sono validi solo per i tondi - le proprietà meccaniche delle barre non tonde con spessore < 5 mm devono essere concordate al momento della richiesta e dell'ordine

Fucinato (ASTM A 473-99 acciaio ASTM 430F)

sezione		Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					
mm		R	Rp 0.2	A%	C%	Kv +20 °C	HB a)
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min	min	J min	max
		485	275	20	45		223
							+A ricotto

a) solo per informazione

Incrudito a freddo EN 10088-3: 2005 in condizione 2H (es. +A+C)

sezione		Prova di trazione in longitudinale a +20 °C			
mm		R	Rp 0.2	A%	
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min	
	25	550-750	440	15	+C550 materiale trafilato

Tabella di rinvenimento valori a temperatura ambiente su tondo Ø 20 mm dopo tempra a 1000 °C in olio

R	N/mm ²	880	860	860	900	920	910	880	820	660	600	580
Rp 0.2	N/mm ²	710	690	680	690	700	700	670	610	470	420	380
A	%	12	13	13	13	13	13,5	14	14	15	16	17
Rinvenimento °C		200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700



Tabella di incrudimento (laminato a caldo +RA+C). Valori indicativi

R	N/mm ²	550	570	600	620	650	710	755	765	775
Rp 0.2	N/mm ²	320	440	480	490	540	620	635	640	650
A	%	22	18	16	14	13	12	10	10	9
Riduzione	%	0	5	8	10	15	20	25	26	29
Espansione termica	10 ⁻⁶ • K ⁻¹	►			10.0	10.5	10.5	10.5		
Modulo elastico	longitudinale GPa				215	212	205	200	190	
Numero di Poisson	ν				0,27-0,30					
Resistività elettrica	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$				0.70					
Conduttività elettrica	Siemens.m/mm ²				1.43					
Calore specifico	J/(Kg.K)				460					
Densità	Kg/dm ³				7.70					
Conducibilità termica	W/(m.K)				25					
Permeabilità magnetica relativa	μ_r				600-1100					
°C					20	100	200	300	400	

Il simbolo ► indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C

Resistenza alla corrosione	Atmosfera		Azione chimica			x petrolio, fenolo, detergenti domestici, sostanze alimentari	
Acqua dolce	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>		
x	x		x				
Magnetico	sì						
Truciolabilità	alta						
Indurimento	tempra, trafilatura e altre deformazioni plastiche a freddo						
Temperatura di servizio in aria	fino a 740 °C in servizio continuo e 820 °C in servizio intermittente						
Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
X14CrMoS17			Y10Cr17		SUS 430F		STS 430F



Qualità materiale	X6CrMoS17	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4105	Ferritico	<i>Lucefim Group</i>

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Mo%	
max	max	max	max				
0,08	1,50	1,50	0,040	0,15-0,35	16,0-18,0	0,20-0,60	EN 10088-1: 2005
± 0.01	± 0.10	± 0.04	+ 0.005	± 0.02	± 0.2	± 0.03	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Ricristallizzazione +RA	Ricottura di lavorabilità +A	Saldatura MMA elettrodi AWS
1500-1490	1150-815	790-710 raffr. fino a 300 poi aria	850-750 aria	<i>preiscaldo ricottura dopo s.</i> difficoltosa rivolgersi a produttori qualificati di elettrodi
Ricottura isoterma +I	Tempra +Q	Rinvenimento +T	Ricottura per proprietà magnetiche	<i>giunzione con acciai</i>
non adatta	non adatta	non adatto	825-805 atmosfera protetta raffredd. 50-100 °C/h fino a 400 poi aria	carbonio legati CrMo inossidabili
				E309 E309 E309 - E308
				<i>riparazione o riporto della base</i> E309

Trattamento chimico - Decapaggio (20 - 50% HNO₃) + (2 - 6% Na₂Cr₂O₇·2H₂O) a caldo o a freddo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione mm	Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					
oltre	fino a	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	HB a)
		N/mm ²	N/mm ² min	min	J min	max
	100	430-630	250	20	200	+A ricotto

Barre trasformate a freddo di acciai trattati termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 2H, 2B, 2G, 2P

sezione mm	Prova di trazione in longitudinale a +20 °C						
oltre	fino a	R	HB	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C
		N/mm ² max	max	N/mm ²	N/mm ² min	min	J min
	10 ^{b)}			530-780	330	7	
	16			500-780	310	7	
	16			430-730	250	12	
	40			430-730	250	12	
	63			430-630	250	20	
	63						+A materiale ricotto

^{b)} nella gamma 1 mm ≤ d < 5 mm i valori sono validi solo per i tondi - le proprietà meccaniche delle barre non tonde con spessore < 5 mm devono essere concordate al momento della richiesta e dell'ordine

Fucinato

sezione mm	Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					
oltre	fino a	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	HB a)
		N/mm ²	N/mm ² min	min	J min	max
						200
						+A ricotto

^{a)} solo per informazione

Tabella di incrudimento (laminato a caldo +RA+C). Valori indicativi

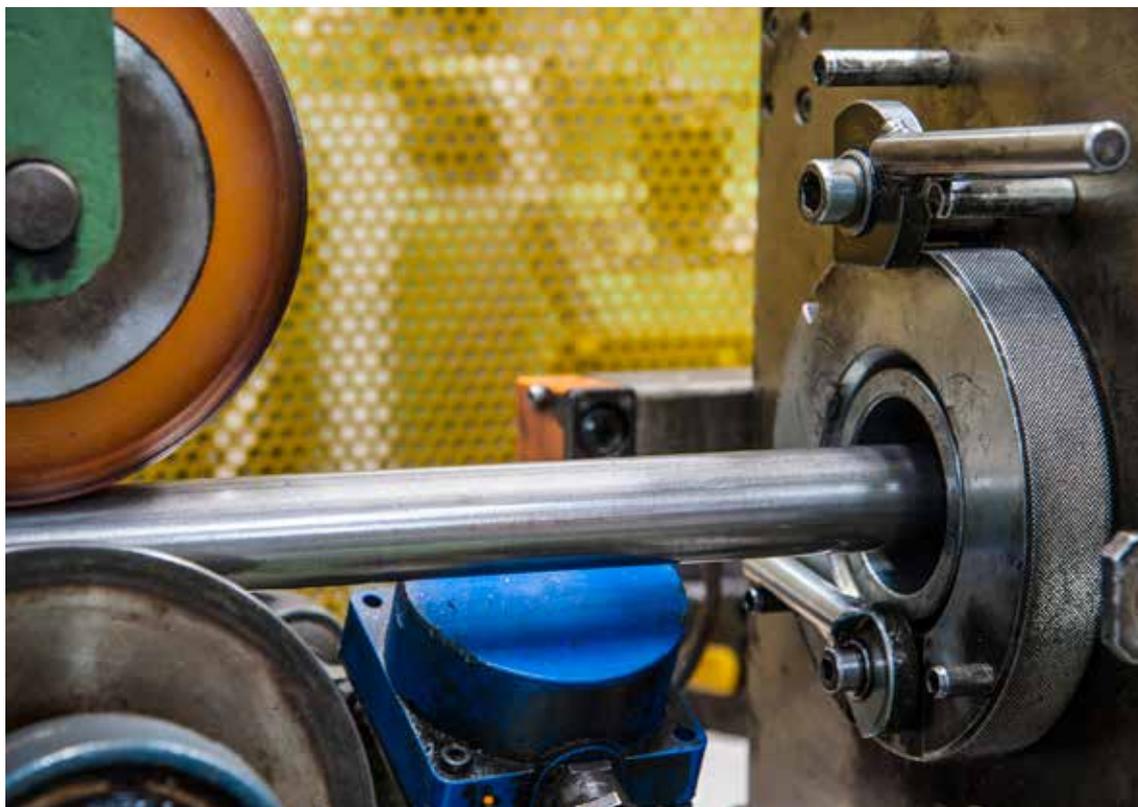
	R	Rp 0.2	A	Riduzione %
N/mm ²	570	280	20	0
N/mm ²	620	510	10	10
N/mm ²	690	590	9	20
N/mm ²	710	620	9	30
N/mm ²	740	650	8	40
N/mm ²	780	690	8	50
N/mm ²	800	730	8	60
N/mm ²	840	760	8	70
N/mm ²	880	800	8	75
N/mm ²	920	850	8	80

Valori minimi di snervamento a temperature elevate EN 10088-3: 2005

Rp 0.2	Prova a °C	230	220	215	210	205	200	195
N/mm ²		230	220	215	210	205	200	195
		100	150	200	250	300	350	400



X6CrMoS17 n° 1.4105 ferritico								Lucefin Group
Espansione termica	$10^{-6} \cdot K^{-1}$	►	10.0	10.5	10.5	10.5	12.0	12.6
Modulo elastico	longitudinale	GPa	220	215	210	205	195	
Numero di Poisson	ν		0.27-0,30 ~					
Resistività elettrica	$\Omega \cdot mm^2/m$		0.70					
Conduttività elettrica	Siemens	m/mm^2	1.43					
Calore specifico	J/(Kg·K)		460					
Densità	Kg/dm ³		7.75					
Conducibilità termica	W/(m·K)		25					
Permeabilità magnetica relativa	μ_r		640 ~					
°C			20	100	200	300	400	600 800
Il simbolo ► indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C								
Resistenza alla corrosione		Atmosfera		Azione chimica			x vapore, alimentari e	
Acqua dolce		<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>	caseari, prodotti organici, acido nitrico	
x		x		x				
Magnetico		sì						
Truciolabilità		alta						
Indurimento		trafilatura e altre deformazioni plastiche a freddo						
Temperatura di servizio in aria		fino a 810 °C in servizio continuo e 860 °C in servizio intermittente						
Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea	
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS	
X6CrMoS17	43020	430F						





Qualità materiale	X2CrMoSiS18-2-1	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4106 MOD	Ferritico	Lucefin Group

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Mo%	N%	
max			max				max	AFNOR FD A 35-570: 1996
0,03	1,25-1,50	0,30-0,60	0,040	0,25-0,30	17,5-18,5	1,50-2,00	0,04	

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Preriscaldamento	Deformazione a caldo	Ricristallizzazione +RA	Saldatura MMA con elettrodi AWS
1490-1480	870-815 sosta poi ▲	▲ 1150-1050	810-700 raffr. a 300 poi aria	<i>preriscaldamento</i> <i>sconsigliata</i> <i>ricottura dopo s.</i>
Ricottura di lavorabilità +A	Tempra +Q	Rinvenimento +T	Ricottura per proprietà magnetiche	giunzione con acciai
820-750 aria	non adatta	non adatto	860-850 atmosfera protetta raffredd. 55 °C/h fino a 420 poi aria	carbonio legati CrMo inossidabili <i>riparazione o riporto della base</i>

Normalmente l'atmosfera protetta del forno per la ricottura magnetica ha un punto di rugiada di -60 °C. Temperatura di Curie 660 °C

Trattamento chimico - Decapaggio (6 - 25% HNO₃) + (0.5 - 8% HF) a caldo o a freddo. Passivazione 20 - 25% HNO₃ a caldo

Proprietà meccaniche

Laminato a caldo (ASTM A 582 582M-05 steel XM-34)

sezione	Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					
mm	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	HB a)	a) solo per informazione
oltre fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min	J min	max	
					262	+A ricotto

Espansione termica	10 ⁻⁶ • K ⁻¹	▶	12.0
Modulo elastico ^{b)}	longitudinale	GPa	225
Numero di Poisson	<i>v</i>		0,27-0,30~
Resistività elettrica	Ω • mm ² /m		0.76
Conduttività elettrica	Siemens•m/mm ²		1.31
Calore specifico	J/(Kg•K)		500 ~
Densità	Kg/dm ³		7.75
Conducibilità termica	W/(m•K)		15
Permeabilità magnetica relativa	μr		1200 ~
°C		20	100

Il simbolo ▶ indica fra 20 °C e 100 °C

^{b)} Le deformazioni a freddo abbassano il modulo elastico. Con un trattamento termico di distensione è possibile aumentarlo

Resistenza alla corrosione	Atmosfera			Azione chimica			x ambienti con presenza di acidi e cloruri
Acqua dolce	<i>industriale</i>	<i>marina</i>		<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>	
x	x						

Magnetico	sì
Truciolabilità	alta
Indurimento	trafilatura e altre deformazioni plastiche a freddo
Temperatura di servizio in aria	fino a ~ 850 °C in servizio continuo e ~ 740 °C in servizio intermittente

Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
(X2CrMoSiS18-2-1)							



Qualità materiale	X90CrMoV18	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4112	Martensitico	<i>Lucefin Group</i>

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S% ^{a)}	Cr%	Mo%	V%	
	max	max	max	max				
0,85-0,95	1,00	1,00	0,040	0,015	17,0-19,0	0,90-1,30	0,07-0,12	EN 10088-1: 2005
± 0.03	+ 0.05	+ 0.03	+ 0.005	+ 0.003	± 0.2	± 0.05	± 0.03	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

^{a)} Per migliorare la truciolabilità è permesso zolfo 0,015% - 0,030%; per la lucidabilità è raccomandato un tenore di zolfo 0,015% max.

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Ricottura completa	Ricottura di lavorabilità +A	Saldatura MMA con elettrodi AWS
1440-1420	1175-930	910-890 raffr. 15 °C/h fino a 590 poi aria	840-780 raffr. lento	<i>preriscaldamento ricottura dopo s.</i> 200-150 750-700
Ricottura isoterma +I	Tempra +Q	Rinvenimento +T	Distensione +SR	giunzione con acciai
900-840 raffr. controllato fino a 690 poi aria	1050-1000 olio / polimero (HRC 58)	550-450 aria	350-100 aria	carbonio legati CrMo inossidabili E70 xx E8018-B 2 E309 - E308 <i>riparazione o riporto della base</i> E309 speciale

Temperature di trasformazioni in fase di riscaldamento **Ac1** ~ 790, **Ac3** ~ 870 e in fase di raffreddamento **Ms** ~ 280, **Mf** ~ 130

Trattamento chimico - *Decapaggio* (20 - 50% HNO₃) a caldo. *Passivazione* (20 - 25% HNO₃) + (2.5% Na₂Cr₂O₇·2H₂O) a caldo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione mm	Prova di trazione in longitudinale a +20 °C						
	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	HB ^{a)}		^{a)} solo per informazione
oltre fino a 100	N/mm ²	N/mm ² min	min	J min	max		
					265		+A ricotto

Barre, valori tipici secondo UNS S44003 acciaio 440B

sezione mm	Prova di trazione in longitudinale a +20 °C									
	R	Rp 0.2	A%	C%	HB	R	Rp 0.2	A%	C%	HB
oltre fino a	N/mm ²	N/mm ²			max	N/mm ²	N/mm ²			
	min	min	min	min		min	min	min	min	max
	738	427	18	35	269	827	655	9	20	285
	+A laminato ricotto					+A+C trafilato				

Fucinato (ASTM A 473-99 acciaio ASTM 440B)

sezione mm	Prova di trazione in longitudinale a +20 °C						
	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	HB ^{a)}		
oltre fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min	J min	max		
					269		+A ricotto

^{a)} solo per informazione

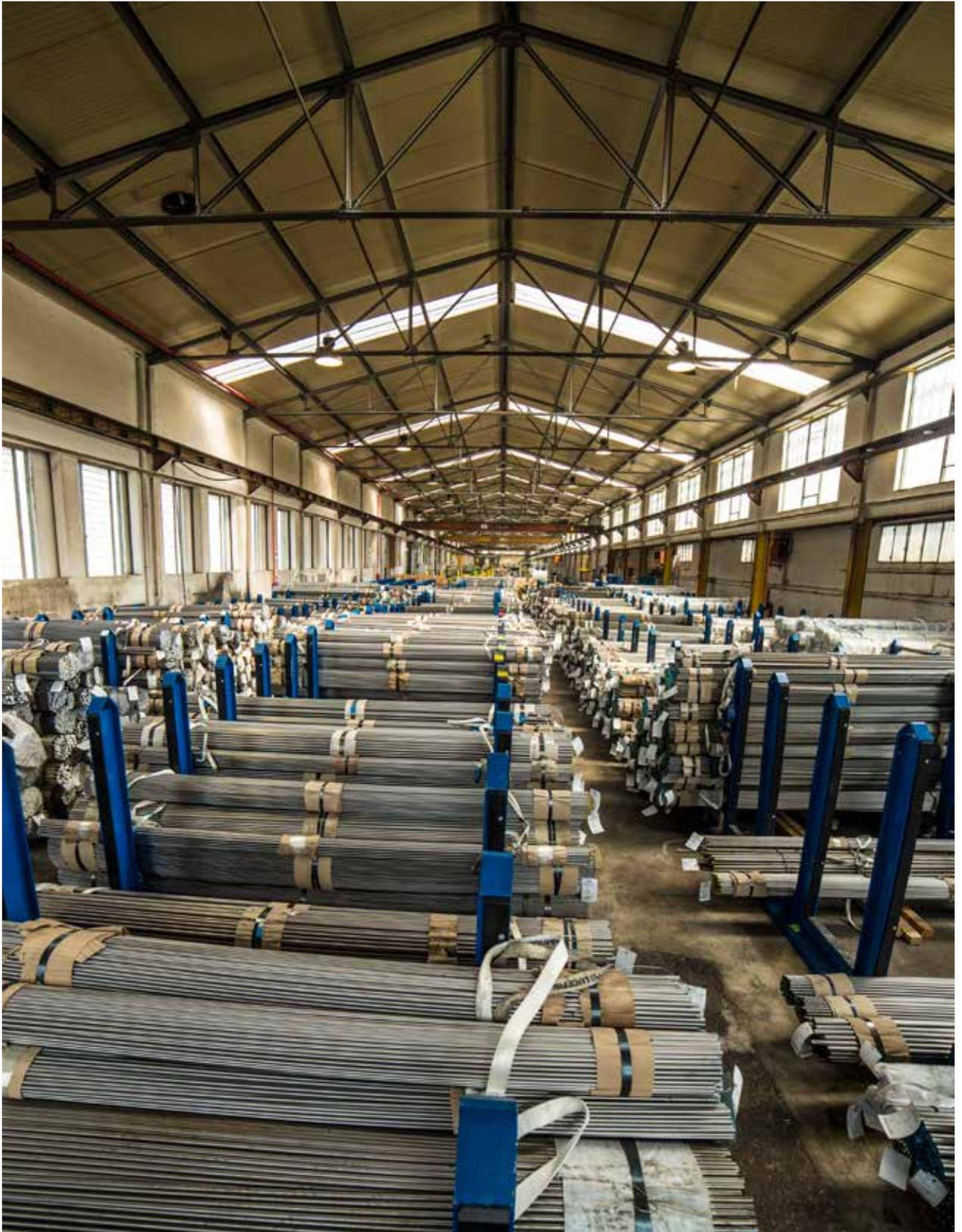
Tabella di rinvenimento valori a temperatura ambiente dopo tempra a 1020 °C in olio

HB	595	560	543	525	525	371	311	279
HRC	57	55	54	53	53	40	33	29
Rinvenimento °C	100	200	300	400	500	600	650	700



X90CrMoV18 n° 1.4112 martensitico							Lucefin Group	
Espansione termica	$10^{-6} \cdot K^{-1}$	►	10.4	10.8	11.2	11.6	11.9	
Modulo elastico	longitudinale	GPa	215	212	205	200	190	
Numero di Poisson	ν		0,27-0,30 ~					
Resistività elettrica	$\Omega \cdot mm^2/m$		0.80					
Conduttività elettrica	Siemens	m/mm^2	1.25					
Calore specifico	J/(Kg·K)		430					
Densità	Kg/dm ³		7.70					
Conducibilità termica	W/(m·K)		15.0					
Permeabilità magnetica relativa	μ_r		700-1000 ~					
°C			20	100	200	300	400	600
Il simbolo ► indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C								
Resistenza alla corrosione	Atmosfera			Azione chimica			x vapore acqueo, petrolio, benzina, alcool, alimenti, succhi di frutta	
Acqua dolce	<i>industriale</i> <i>marina</i>		<i>media</i> <i>ossidante</i> <i>riducente</i>					
x								
Magnetico	sì							
Truciolabilità	difficoltosa							
Indurimento	mediante tempra							
Temperatura di servizio in aria	300 °C per prodotti incruditi a freddo e max 760 °C per prodotti formati a caldo							
Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea	
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS	
X90CrMoV18	S44003	440B	90Cr18MoV		SUS 440B		STS 440B	





Qualità materiale	X50CrMoV15	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4116	Martensitico	<i>Lucefim Group</i>

Composizione chimica

C%	Si% max	Mn% max	P% max	S% ^{a)} max	Cr%	Mo%	V%	
0,45-0,55	1,00	1,00	0,040	0,015	14,0-15,0	0,50-0,80	0,10-0,20	EN 10088-1: 2005
± 0.02	+ 0.05	+ 0.03	+ 0.005	+ 0.003	± 0.15	± 0.05	± 0.03	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

^{a)} Per migliorare la truciolabilità è permesso zolfo 0,015% - 0,030%; per la lucidabilità è raccomandato un tenore di zolfo 0,015% max.

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Ricottura completa	Ricottura di lavorabilità +A	Saldatura MMA con elettrodi AWS
1480-1460	1100-930	930-870 forno	850-750 raffr. lento	<i>preriscaldamento</i> 260 <i>ricottura dopo s.</i> 760-740
Ricottura isoterma +I	Tempra +Q	Rinvenimento +T	Distensione +SR	giunzione con acciai
910-890 raffr. controllato fino a 750 poi aria	1030-980 olio / polimero (HRC 55)	500-400 aria	250-150 aria	carbonio legati CrMo inossidabili E70 xx E8018-B 2 E309 - E308 <i>riparazione o riporto della base</i> E309

Temperature di trasformazioni in fase di riscaldamento **Ac1** ~ 880, **Ac3** ~ 920 e in fase di raffreddamento **Ms** ~ 280, **Mf** ~ 120

Trattamento chimico - Decapaggio (20 - 50% HNO₃) a caldo. Passivazione (20 - 25% HNO₃) + (2.5% Na₂Cr₂O₇.2H₂O) a caldo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione	Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					^{a)} solo per informazione			
mm	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	HB ^{a)}				
oltre fino a	N/mm ²	N/mm ²	min	J min	max				
	900 max				280	+A ricotto			

Tabella di rinvenimento valori a temperatura ambiente dopo tempra a 990 °C in olio

HB	543	518	512	518	512	525	496	381	301
HRC	54	52,5	52	52,5	52	53	51	41	32
Rinvenimento °C	200	250	300	350	400	450	500	550	600

Espansione termica	10 ⁻⁶ . K ⁻¹	▶	10.5	11.0	11.0	11.5				
Modulo elastico	longitudinale	GPa	215	212	205	200	190			
Numero di Poisson	v		0,27-0,30							
Resistività elettrica	Ω . mm ² /m		0.65							
Conduttività elettrica	Siemens.m/mm ²		1.54							
Calore specifico	J/(Kg.K)		460							
Densità	Kg/dm ³		7.70							
Conducibilità termica	W/(m.K)		30							
Permeabilità magnetica relativa	μr		700 ~							
°C			20	100	200	300	400			

Il simbolo ▶ indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C

Resistenza alla corrosione	Atmosfera		Azione chimica			x vapore acqueo, petrolio, alcool, ammoniaca, materiale organico
	industriale	marina	media	ossidante	riducente	
Acqua dolce						
x			x			

Magnetico	si
Truciolabilità	media
Indurimento	mediante tempra
Temperatura di servizio in aria	fino a 760 °C

Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
X50CrMoV15			(7Cr17)	50Ch14MF	(SUS 440A)		



X39CrMo17-1 n° 1.4122 martensitico							Lucefin Group
Espansione termica	$10^{-6} \cdot K^{-1}$	►	10.4	10.8	11.2	11.6	
Modulo elastico	longitudinale	GPa	215	212	205	200	190
Numero di Poisson	ν		0,27-0,30 ~				
Resistività elettrica	$\Omega \cdot mm^2/m$		0.80				
Conduttività elettrica	Siemens·m/mm ²		1.25				
Calore specifico	J/(Kg·K)		430				
Densità	Kg/dm ³		7.70				
Conducibilità termica	W/(m·K)		15				
Permeabilità magnetica relativa	μ_r		700-1000 ~				
°C			20	100	200	300	400
Il simbolo ► indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C							
Resistenza alla corrosione	Atmosfera			Azione chimica			x acidi organici e nitrici
Acqua dolce	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>		
x							
Magnetico	sì						
Truciolabilità	bassa						
Indurimento	tempra						
Temperatura di servizio in aria	buona resistenza all'ossidazione e al calore fino a 500 °C						
Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
X39CrMo17-1				40Ch16M			



Qualità materiale	X105CrMo17	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4125	Martensitico	Lucefin Group

Composizione chimica

C%	Si% max	Mn% max	P% max	S% ^{a)} max	Cr%	Mo%	
0,95-1,20	1,00	1,00	0,040	0,015	16,0-18,0	0,40-0,80	EN 10088-1: 2005
± 0.03	+ 0.05	+ 0.03	+ 0.005	+ 0.003	± 0.2	± 0.05	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

^{a)} Per migliorare la truciolabilità è permesso zolfo 0,015% - 0,030%; per la lucidabilità è raccomandato un tenore di zolfo 0,015% max.

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Ricottura completa	Ricottura di lavorabilità +A	Saldatura MMA con elettrodi AWS
1440-1410	1100-930	900-845 raffr. in forno fino a 590 poi aria	840-780 aria (HB max 285)	<i>preriscaldamento ricottura dopo s.</i> difficoltosa rivolgersi a produttori qualificati di elettrodi
Ricottura isoterma +I	Tempra +Q	Rinvenimento +T	Distensione +SR	giunzione con acciai
900-840 raffr. controllato fino a 690 poi aria (HB 243-253)	1050-1000 aria / olio / polimero (HRC 60)	425-180 aria	300-100 aria	carbonio legati CrMo inossidabili E309 E309 E309 - E308
				<i>riparazione o riporto della base</i> E309 speciale

Temperature di trasformazioni in fase di riscaldamento **Ac1** ~ 780, **Ac3** ~ 835 e in fase di raffreddamento **Ms** ~ 180, **Mf** ~ 30

Trattamento chimico • *Decapaggio* (20 - 50% HNO₃) a caldo. *Passivazione* (20 - 25% HNO₃) + (2.5% Na₂Cr₂O₇.2H₂O) a caldo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione		Prova di trazione in longitudinale a +20 °C						
mm		R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	HB ^{a)}	^{a)} solo per informazione	
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min	J min	max		
	100					285	+A ricotto	

Barre, valori tipici secondo UNS S44004 acciaio 440C

sezione		Prova di trazione in longitudinale a +20 °C									
mm		R	Rp 0.2	A%	C%	HB	R	Rp 0.2	A%	C%	HB
oltre	fino a	N/mm ² min	N/mm ² min	min	min	max	N/mm ² min	N/mm ² min	min	min	max
		758	448	14	25	269	862	689	7	20	285
		+A laminato a caldo ricotto					+A+C trafilato				

Fucinato (ASTM A 473-99 acciaio ASTM 440C)

sezione		Prova di trazione in longitudinale a +20 °C						
mm		R	Rp 0.2	A%	C%	Kv +20 °C	HB ^{a)}	
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min	min	J min	max	
							269	+A ricotto

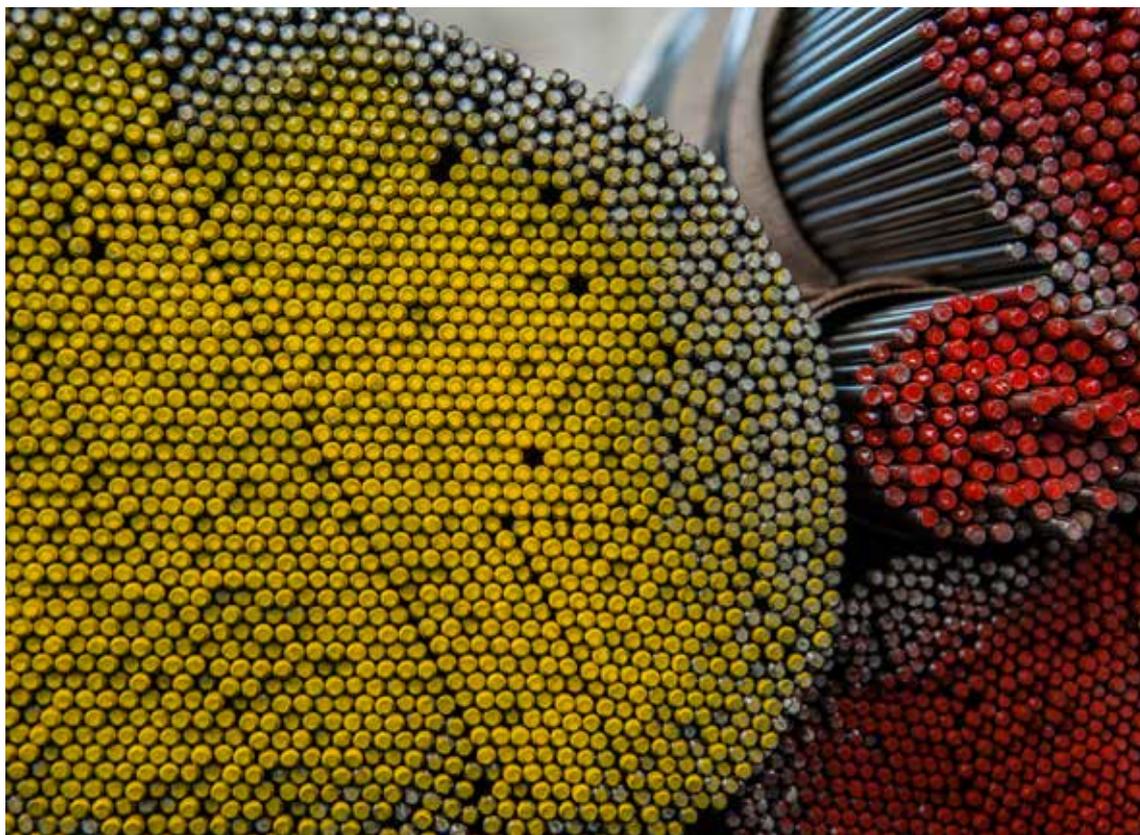
^{a)} solo per informazione

Tabella di rinvenimento valori a temperatura ambiente su tondo Ø 16 mm dopo tempra a 1020 °C in olio

HB	654	634	595	595	595	615	615	432	381
HRC	60	59	57	57	57	58	58	46	41
Rinvenimento °C	100	200	300	350	400	450	500	550	600



X105CrMo17 n° 1.4125 martensitico							Lucefin Group	
Espansione termica	$10^{-6} \cdot K^{-1}$	►	10.4	10.8	11.2	11.6	12.0	
Modulo elastico	longitudinale	GPa	215	212	205	200	190	
Numero di Poisson	ν		0,283					
Resistività elettrica	$\Omega \cdot mm^2/m$		0.80					
Conduttività elettrica	Siemens	m/mm^2	1.25					
Calore specifico	$J/(Kg \cdot K)$		430					
Densità	Kg/dm^3		7.70					
Conducibilità termica	$W/(m \cdot K)$		15					
Permeabilità magnetica relativa	μ_r		700-1000 ~					
°C			20	100	200	300	400	500
Il simbolo ► indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C								
Resistenza alla corrosione	Atmosfera		Azione chimica			x vapore, petrolio, ammoniaca, benzina, alcool, alimenti		
Acqua dolce	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>			
x								
Magnetico	sì							
Truciolabilità	difficoltosa							
Indurimento	tempra							
Temperatura di servizio in aria	resistenza all'ossidazione fino a 700 °C							
Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea	
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS	
X105CrMo17	S44004	440C	108Cr17	95Ch18	SUS 440C	(X108Cr17Mo)	STS 440C	



Qualità materiale	X5CrNi18-10	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4301	Austenitico	<i>Lucefin Group</i>

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S% ^{a)}	Cr%	Ni%	N%	
max	max	max	max	max			max	
0,07	1,00	2,00	0,045	0,015	17,5-19,5	8,0-10,5	0,11	EN 10088-1: 2005
± 0.01	+ 0.05	± 0.04	+ 0.005	+ 0.003	± 0.2	± 0.1	± 0.01	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

^{a)} Per migliorare la truciolabilità è permesso zolfo 0,015% - 0,030%; per la lucidabilità è raccomandato un tenore di zolfo 0,015% max.

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Solubilizzazione +AT	Stabilizzazione	Ricottura di lavorabilità +A	Saldatura MMA con elettrodi AWS
1460-1400	1200-950	1120-1000 acqua	non necessaria	non adatta	<i>preiscaldamento non necessario</i> <i>post saldatura raffreddamento lento</i>
Sensibilizzazione	Tempra +Q	Rinvenimento +T	Distensione +SR		<i>giunzione con acciai carbonio legati CrMo inossidabili</i>
non consigliata	non adatta	non adatto	430-350 aria		<i>E309-E308 E309-E308 E308</i> <i>riparazione o riporto della base</i> <i>E308 - E308L</i>

Trattamento chimico - Decapaggio (6 - 25% HNO₃) + (0.5 - 8% HF) a caldo - Passivazione 20 - 50% HNO₃ a caldo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm		R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	HB ^{a)}
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	max
	160	500-700	190	45		100		215 +AT solubilizzato
	160 250	500-700	190		35		60	215 +AT solubilizzato

^{a)} solo per informazione. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Barre trasformate a freddo di acciai trattati termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 2H, 2B, 2G, 2P

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm		R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	
	10 ^{b)}	600-950	400	25				
	10 16	600-950	400	25				+AT
	16 40	600-850	190	30		100		materiale
	40 63	580-850	190	30		100		solubilizzato
	63 160	500-700	190	45		100		
	160 250	500-700	190		35		60	

^{b)} nella gamma 1 mm ≤ d < 5 mm i valori sono validi solo per i tondi - le proprietà meccaniche delle barre non tonde con spessore < 5 mm devono essere concordate al momento della richiesta e dell'ordine. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Fucinato +AT materiale solubilizzato

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm		R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	Kv -196 °C
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	J min (T)
	250	500-700	190		35	100	60	
	250	500-700	200	45	35	100	60	60

EN 10250-4: 2001
EN 10222-5: 2001

Incrudito a freddo EN 10088-3: 2005 in condizione 2H (es. +AT+C)

sezione		Prova di trazione a +20 °C			
mm		R	Rp 0.2	A%	
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min	
	35	700-850	350	20	+AT+C700 materiale trafilato
	25	800-1000	500	12	+AT+C800 materiale trafilato

Curva di transizione determinata con resilienze Kv. Materiale solubilizzato a 1050 °C								Valori indicativi - Materiale +AT					
Valore medio	J	210	210	210	212	218	228	244	°C	R	Rp 0.2	A	
Prove a	°C	-160	-120	-80	-40	0	+40	+80		N/mm ²	N/mm ²	%	
									+24	520	210	45	
									-80	860	270	35	
									-196	1250	350	30	
									-254	1680	440	30	



Tabella di incrudimento (laminato a caldo +AT+C). Valori indicativi. Incremento valore di rottura: ~ 13,8 N/mm² ogni 1% di riduzione

R	N/mm ²	560	715	830	1000	1110	1240	1400	1500	1600
Rp 0.2	N/mm ²	300	490	600	860	1000	1100	1210	1350	1400
A	%	38	20	12	10	10	10	10	8	8
Riduzione	%	0	10	20	30	40	50	60	70	75

Valori minimi di snervamento e rottura a temperature elevate su materiale +AT solubilizzato EN 10088-3: 2005 / EN 10269: 2001

Rp 0.2	N/mm ²	155	140	127	118	110	104	98	95	92	90
R	N/mm ²	450	420	400	390	380	380	375	360	335	300
Prova a	°C	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550

Espansione termica	10 ⁻⁶ . K ⁻¹			13.4	13.8	14.8	▶	16.0	16.5	17.0	17.5	18.8	20.2	
Modulo elastico	longitudinale	GPa	180					200	194	186	179	172	127	
Numero di Poisson	ν							0.24	0.256					
Resistività elettrica	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$		0.55			0.64	0.73		0.86		1.00	1.11	1.21	
Conduttività elettrica	Siemens·m/mm ²						1.37							
Calore specifico	J/(Kg·K)							500	510		550	585	630	
Densità	Kg/dm ³							7.93						
Conducibilità termica	W/(m·K)							15.0	16.3	17.5	19.9	21.5	25.1	
Permeab. magnetica relativa	μ_r							1.021						
°C				-196	-184	-128	-74	20	100	200	300	400	600	800

Il simbolo ▶ indica fra 20 °C e 100 °C, 20°C e 200 °C

Resistenza alla corrosione	Atmosfera													
Acqua dolce	<i>industriale</i>		<i>marina</i>											
x	x							x	x					x acido nitrico, deboli a. organici, atmosfere rurali e urbane

Magnetico	no
Truciolabilità	alta
Indurimento	trafilatura e altre deformazioni plastiche a freddo
Temperatura di servizio in aria	fino a 850 °C in servizio continuo e 800 °C in servizio intermittente

Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
X5CrNi18-10	S30400	(304)	0Cr18Ni9	07Ch18N10		X04Cr19Ni9	



Qualità materiale	X8CrNiS18-9	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4305	Austenitico	<i>Lucefyn Group</i>

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Ni%	N%	Cu%	
max	max	max	max				max	max	
0,10	1,00	2,00	0,045	0,15-0,35	17,0-19,0	8,0-10,0	0,11	1,00	EN 10088-1: 2005
± 0.01	+ 0.05	+ 0.04	+ 0.005	+ 0.02	± 0.2	± 0.1	± 0.01	± 0.01	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Solubilizzazione +AT	Ricottura di lavorabilità +A	Saldatura MMA con elettrodi AWS
1420-1400	1200-900	1150-1040 acqua / aria	non adatta	<i>preriscaldamento</i> con elettrodi AWS <i>post saldatura</i> sconsigliata, rivolgersi a produttori qualificati <i>giunzione con acciai</i>
Sensibilizzazione	Tempra +Q	Rinvenimento +T	Stabilizzazione	carbonio legati CrMo inossidabili imburratura E309 - E312 come acciai al E308 - E312 finire con E308 carbonio
prove di suscettibilità a 800-450	non adatta	non adatto	non necessaria	<i>riparazione o riporto della base</i> E308 - E312

Trattamento chimico - Decapaggio (20 - 50% HNO₃) + (2 - 6% Na₂Cr₂O₇·2H₂O) a caldo o a freddo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm		R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	HB ^{a)}
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	max
	160	500-750	190	35				230 +AT solubilizzato

^{a)} solo per informazione. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Barre trasformate a freddo di acciai trattati termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 2H, 2B, 2G, 2P

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm		R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	
	10 ^{b)}	600-950	400	15				
10	16	600-950	400	15				+AT
16	40	600-850	190	20		100		materiale
40	63	500-850	190	20		100		solubilizzato
63	160	500-750	190	35		100		

^{b)} nella gamma 1 mm ≤ d < 5 mm i valori sono validi solo per i tondi - le proprietà meccaniche delle barre non tonde con spessore < 5 mm devono essere concordate al momento della richiesta e dell'ordine. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Fucinato (ASTM A 473-99 acciaio ASTM 303)

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm		R	Rp 0.2	A%	C%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	
oltre	fino a	N/mm ² min	N/mm ² min	min (L)	min (L)	J min (L)	J min (T)	
		515	205	40	50			+AT materiale solubilizzato

Incrudito a freddo EN 10088-3: 2005 in condizione 2H (es. +AT+C)

sezione		Prova di trazione a +20 °C			
mm		R	Rp 0.2	A%	
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min	
	35	700-850	350	20	+AT+C700 materiale trafilato
	25	800-1000	500	12	+AT+C800 materiale trafilato

Curva di transizione determinata con resilienze Kv. Materiale solubilizzato a 1050 °C

Valore medio J	212	222	230	238	244	250	258
Prove a °C	-160	-120	-80	-40	0	+40	+80

Tabella di incrudimento (laminato a caldo +AT+C). Valori indicativi

R	N/mm ²	610	800	1000	1200	1320	1480	1600	1750
Rp 0.2	N/mm ²	240	550	740	880	1020	1200	1320	1450
A	%	40	20	16	10	8	8	8	6
Permeabilità	μr	1.005	1.06	1.64	3.44				
Riduzione %		0	10	20	30	40	50	60	70



X8CrNiS18-9 n° 1.4305 austenitico							Lucefin Group	
Espansione termica	$10^{-6} \cdot K^{-1}$	►	16.0	16.5	17.0	17.5		
Modulo elastico	longitudinale	GPa	200	194	186	179	172	127
Numero di Poisson	ν		0.24	0.256				
Resistività elettrica	$\Omega \cdot mm^2/m$		0.73		0.86		0.97	1.15
Conduttività elettrica	Siemens	m/mm^2	1.37					
Calore specifico	J/(Kg·K)		500	510		550	585	630
Densità	Kg/dm ³		7.84					
Conducibilità termica	W/(m·K)		15.3	16.3	17.5	19.9	21.5	25.1
Permeabilità magnetica relativa	μ_r		1.021					
°C			20	100	200	300	400	600 800
Il simbolo ► indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C								
Resistenza alla corrosione	Atmosfera			Azione chimica			x sostanze alimentari e organiche, acido nitrico al 5%	
Acqua dolce	<i>industriale</i>	<i>marina</i>		<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>		
x	x	x		x				
Magnetico	no							
Truciolabilità	alta							
Indurimento	trafilatura e altre deformazioni plastiche a freddo							
Temperatura di servizio in aria	fino a 870 °C in servizio continuo e 760 °C in servizio intermittente							
Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea	
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS	
X8CrNiS18-9	S30300	303	Y1Cr18Ni9	12Ch18N10E	SUS 303		STS 303	



Qualità materiale	X2CrNi19-11	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4306	Austenitico	<i>Lucefin Group</i>

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S% ^{a)}	Cr%	Ni%	N%	
max	max	max	max	max			max	
0,03	1,00	2,00	0,045	0,030	18,0-20,0	10,0-12,0	0,11	EN 10088-1: 2005
+ 0.005	+ 0.05	± 0.04	+ 0.005	+ 0.005	± 0.2	± 0.15	± 0.01	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

^{a)} Per migliorare la truciolabilità è permesso zolfo 0,015% - 0,030%; per la lucidabilità è raccomandato un tenore di zolfo 0,015% max.

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Solubilizzazione +AT	Stabilizzazione	Ricottura di lavorabilità +A	Saldatura MMA con elettrodi AWS
1450-1400	1200-930	1100-1050 acqua	885 aria calma	non adatta	<i>preriscaldamento non necessario</i> <i>post saldatura raffreddamento lento</i>
Sensibilizzazione	Tempra +Q	Rinvenimento +T	Distensione +SR	<i>giunzione con acciai carbonio legati CrMo inossidabili</i>	
non adatta	non adatta	non adatto	450-230	E309-E308 E309-E308 E308 <i>riparazione o riporto della base</i> E308 L	

Trattamento chimico - Decapaggio (6 - 25% HNO₃) + (0.5 - 8% HF) a caldo - Passivazione 20 - 50% HNO₃ a caldo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm		R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	HB ^{a)}
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	max
	160	460-680	180	45		100		215 +AT solubilizzato
	160	250	460-680	180	35		60	215 +AT solubilizzato

^{a)} per informazione. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Barre trasformate a freddo di acciai trattati termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 2H, 2B, 2G, 2P

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm		R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	
	10 ^{b)}	600-930	400	25				
	10	16	600-930	380	25			+AT
	16	40	460-830	180	30	100		materiale
	40	63	460-830	180	30	100		solubilizzato
	63	160	460-680	180	45	100		
	160	250	460-680	180	35		60	

^{b)} nella gamma 1 mm ≤ d < 5 mm i valori sono validi solo per i tondi - le proprietà meccaniche delle barre non tonde con spessore < 5 mm devono essere concordate al momento della richiesta e dell'ordine. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Fucinato EN 10250-4: 2001

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm		R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	
	250	460-680	180		35	100	60	+AT materiale solubilizzato

Incrudito a freddo EN 10088-3: 2005 in condizione 2H (es. +AT+C)

sezione		Prova di trazione a +20 °C			
mm		R	Rp 0.2	A%	
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min	
	35	700-850	350	20	+AT+C700 materiale trafilato
	25	800-1000	500	12	+AT+C800 materiale trafilato

Caratteristiche meccaniche indicative a bassa temperatura. Materiale solubilizzato a 1050 °C

R	N/mm ²	1450	1300	1000	600
Rp 0.2	N/mm ²	350	320	320	290
A	%	40	45	50	55
Prove a °C		-254	-196	-100	0



Tabella di incrudimento (laminato a caldo +AT+C). Valori indicativi

R	N/mm ²	600	780	880	1000	1080	1150	1220	1350
Rp 0.2	N/mm ²	300	440	600	720	820	960	1040	1180
A	%	60	40	20	14	12	12	12	12
Riduzione	%	0	10	20	30	40	50	60	70

Valori minimi di snervamento a temperature elevate su materiale +AT solubilizzato EN 10088-3: 2005

Rp 0.2	N/mm ²	145	130	118	108	100	94	89	85	81	80
Prova a	°C	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550

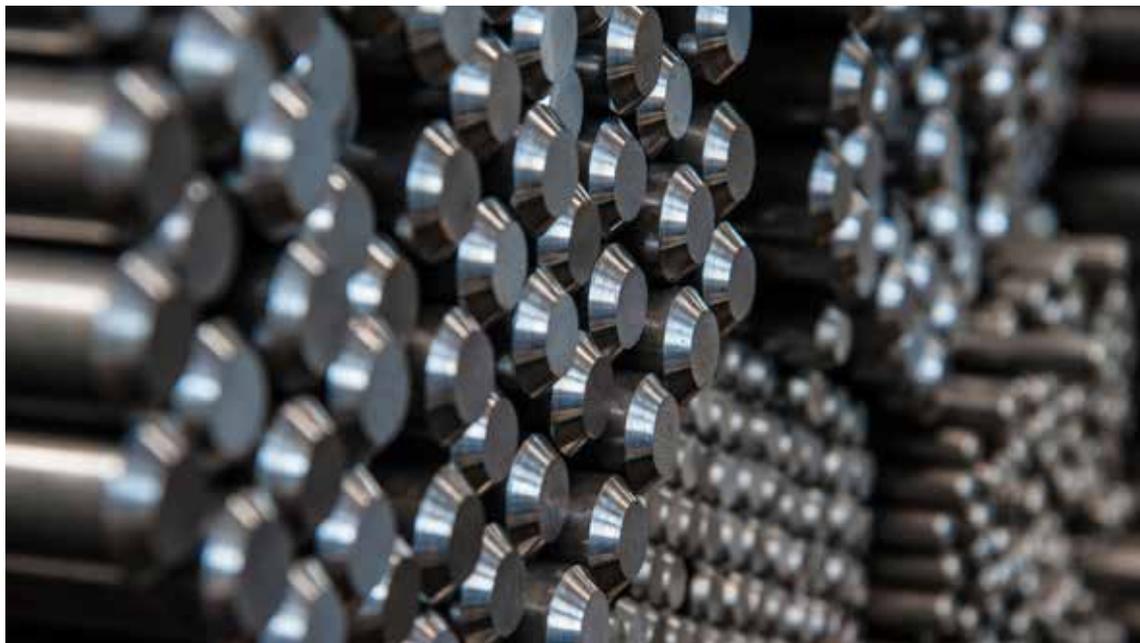
Espansione termica	10 ⁻⁶ · K ⁻¹		▶	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	
Modulo elastico	longitudinale	GPa		200	194	186	179	172	165
Numero di Poisson	ν		0.30	0.30	0.30	0.31	0.31	0.32	0.32
Resistività elettrica	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$			0.73					
Conduttività elettrica	Siemens·m/mm ²			1.37					
Calore specifico	J/(Kg·K)			500					
Densità	Kg/dm ³			7.90					
Conducibilità termica	W/(m·K)			15.0					
Permeabilità magnetica relativa	$\mu_{r \text{ max}}$		~ 2	1.02					
°C			-196	20	100	200	300	400	500

Il simbolo ▶ indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C

Resistenza alla corrosione	Atmosfera		Azione chimica			x intercristallina, alimenti, coloranti e sostanze organiche
Acqua dolce	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>	
x	x		x	x	x	

Magnetico	no
Truciolabilità	alta
Indurimento	trafilatura e altre deformazioni plastiche a freddo
Temperatura di servizio in aria	fino a 850 °C in servizio continuo e 800 °C in servizio intermittente

Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
X2CrNi19-11	S30403	(304L)	022Cr19Ni10	(03Ch18N11)		X02CrNi19-10	



Qualità materiale	X2CrNi18-9	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4307	Austenitico	Lucefin Group

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S% a)	Cr%	Ni%	N%	
max	max	max	max	max			max	
0,03	1,00	2,00	0,045	0,015	17,5-19,5	8,0-10,5	0,11	EN 10088-1: 2005
+ 0.005	+ 0.05	± 0.04	+ 0.005	+ 0.003	± 0.2	± 0.1	± 0.01	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

a) Per migliorare la truciolabilità è permesso zolfo 0,015% - 0,030%; per la lucidabilità è raccomandato un tenore di zolfo 0,015% max.

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Solubilizzazione +AT	Ricottura di lavorabilità +A	Saldatura MMA con elettrodi AWS
1460-1400	1200-930	1120-1000 acqua	non adatta	<i>preriscaldamento</i> non necessario <i>post saldatura</i> raffreddamento lento
Sensibilizzazione	Tempra +Q	Rinvenimento +T	Stabilizzazione	giunzione con acciai
prove di suscettibilità a 700-450	non adatta	non adatto	non necessaria	carbonio legati CrMo inossidabili E309-E308 E309-E308 E308 <i>riparazione o riporto della base</i> E308 L

Trattamento chimico - Decapaggio (10% HNO₃) + (2% HF) a 60° oppure a freddo - Passivazione 20 - 50% HNO₃ a freddo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione mm	Prova di trazione a +20 °C							
	R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C (T)	HB a)	
oltre fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min	max	
160	500-700	175	45		100		215	+AT solubilizzato
160	250	500-700	175	35		60	215	+AT solubilizzato

a) per informazione. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Barre trasformate a freddo di acciai trattati termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 2H, 2B, 2G, 2P

sezione mm	Prova di trazione a +20 °C							
	R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C (T)		
oltre fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min		
10 ^{b)}	600-930	400	25					
10	16	600-930	380	25				+AT
16	40	500-830	175	30	100			materiale
40	63	500-830	175	30	100			solubilizzato
63	160	500-700	175	45	100			
160	250	500-700	175	35		60		

b) nella gamma 1 mm ≤ d < 5 mm i valori sono validi solo per i tondi - le proprietà meccaniche delle barre non tonde con spessore < 5 mm devono essere concordate al momento della richiesta e dell'ordine. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Fucinato +AT materiale solubilizzato EN 10250-4: 2001

sezione mm	Prova di trazione a +20 °C							
	R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	Kv -196 °C	
oltre fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	J min (T)	
250	460-680	180		35	100	60		EN 10250-4: 2001
250	500-700	200	45	35	100	60	60	EN 10222-5: 2001

Incrudito a freddo EN 10088-3: 2005 in condizione 2H (es. +AT+C)

sezione mm	Prova di trazione a +20 °C			
	R	Rp 0.2	A%	
oltre fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min	
35	700-850	350	20	+AT+C700 materiale trafilato
25	800-1000	500	12	+AT+C800 materiale trafilato

Curva di transizione determinata con resilienze Kv. Materiale solubilizzato a 1050 °C

Valore medio Prove a	J °C	Valori indicativi - Materiale +AT						
		R	Rp 0.2	A	°C	R	Rp 0.2	A
		N/mm ²	N/mm ²	%		N/mm ²	N/mm ²	%
		+24	550	200	45			
		-80	830	220	35			
		-196	1200	300	30			



Tabella di incrudimento (laminato a caldo +AT+C). Valori indicativi

R	N/mm ²	650	850	1000	1100	1190	1280	1380	1500	1570
Rp 0.2	N/mm ²	300	400	650	790	950	1120	1270	1370	1420
A	%	45	38	32	25	20	18	12	10	8
Riduzione	%	0	10	20	30	40	50	60	70	75

Valori minimi di snervamento e rottura a temperature elevate su materiale +AT solubilizzato EN 10088-3: 2005 / EN 10269: 2001

Rp 0.2	N/mm ²	145	130	118	108	100	94	89	85	81	80
R	N/mm ²	410	380	360	350	340	340	330			
Prova a	°C	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550

Espansione termica	10 ⁻⁶ · K ⁻¹		▶	16.0	16.5	17.0	18.0	18.0		
Modulo elastico	longitudinale	GPa		200	194	186	179	172		127
Numero di Poisson	ν			0.28						
Resistività elettrica	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$			0.72		0.86		1.00	1.11	1.21
Conduttività elettrica	Siemens·m/mm ²			1.37						
Calore specifico	J/(Kg·K)			500		503		520	541	559
Densità	Kg/dm ³			7.90						
Conducibilità termica	W/(m·K)			15.0	16.3	17.2	18.7	20.2		25.8
Permeabilità magnetica relativa	$\mu_r \text{ max}$			1.021						
°C				20	100	200	300	400	600	800

Il simbolo ▶ indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C

Resistenza alla corrosione	Atmosfera		Azione chimica			x intercristallina, atmosfera rurali e urbane
Acqua dolce	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>	
x	x	x	x	x	x	

Magnetico	no
Truciolabilità	alta
Indurimento	trafilatura e altre deformazioni plastiche a freddo
Temperatura di servizio in aria	fino a 850 °C in servizio continuo e 800 °C in servizio intermittente

Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
X2CrNi18-9	S30403	(304L)	00Cr19Ni10	03Ch18N11		X02Cr18Ni11	



Qualità materiale	X10CrNi18-8	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4310	Austenitico	<i>Lucefin Group</i>

Composizione chimica

C%	Si% max	Mn% max	P% max	S% max	Cr%	Mo% max	Ni%	N% max	
0,05-0,15	2,00	2,00	0,045	0,015	16,0-19,0	0,80	6,0-9,5	0,11	EN 10088-1: 2005
+ 0.01	+ 0.10	+ 0.10	+ 0.005	+ 0.003	± 0.2	± 0.05	± 0.1	± 0.01	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Solubilizzazione +AT	Ricottura di lavorabilità +A	Stabilizzazione	Saldatura MMA con elettrodi AWS
1435-1400	1250-1150	1120-1000 acqua	non adatta	non necessaria	<i>preriscaldamento non necessario</i> <i>post saldatura raffreddamento lento</i>
Sensibilizzazione	Tempra +Q	Rinvenimento +T	Distensione +SR	<i>giunzione con acciai carbonio legati CrMo inossidabili</i>	
evitare riscaldi lenti nell'intervallo 420 e 800	non adatta	non adatto	400-250	E309-E308 E309-E308 E308 <i>riparazione o riporto della base</i> E308	

Trattamento chimico - Decapaggio 20 - 50% HNO₃ a caldo oppure a freddo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm		R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	HB ^{a)}
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	max
	40	500-750	195	40				230 +AT solubilizzato

^{a)} per informazione. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Finito a caldo (Laminato) ASTM A 276-04

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm		R	Rp 0.2	A%	C%	Kv +20 °C	Kv +20 °C (T)	
oltre	fino a	N/mm ² min	N/mm ² min	min (L)	min (L)	J min (L)	J min (T)	
	tutte	515	205	40	50			+AT materiale solubilizzato

Fucinato +AT materiale solubilizzato ASTM A 473-99

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm		R	Rp 0.2	A%	C%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	Kv -196 °C
oltre	fino a	N/mm ² min	N/mm ² min	min (L)	min (L)	J min (L)	J min (T)	J min (T)
		517	207	40	50			

Incrudito a freddo EN 10088-3: 2005 in condizione 2H (es. +AT+C)

sezione		Prova di trazione a +20 °C			
mm		R	Rp 0.2	A%	
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min	
	20	800-1000	500	12	+AT+C800 materiale trafilato

Curva di transizione determinata con resilienze Kv. Materiale solubilizzato a 1050 °C

Valore medio	J	210	220	230	240	245	250	255
Prove a	°C	-200	-150	-100	-50	0	+50	+100

Caratteristiche meccaniche indicative a bassa temperatura. Materiale solubilizzato a 1050 °C.

R	N/mm ²	660	1100	1570	1900
Rp 0.2	N/mm ²	245	350	550	860
A	%	50	40	30	20
Prove a	°C	+24	-74	-196	-253

Dopo deformazione a freddo, un trattamento di distensione a 280-420 °C, può innalzare ulteriormente il valore di rottura di circa 250 N/mm². Questo trattamento termico aumenta anche il limite di fatica



Tabella di incrudimento (laminato a caldo +AT+C). Valori indicativi

R	N/mm ²	620	820	1000	1200	1320	1440	1620	1780
Rp 0.2	N/mm ²	300	580	730	880	1020	1180	1300	1460
A	%	46	22	14	10	9	9	9	9
Riduzione	%	0	10	20	30	40	50	60	70

Valori minimi di snervamento a temperature elevate su materiale +AT solubilizzato EN 10088-3: 2005

Rp 0.2	N/mm ²	210	200	190	185	180			
Prova a	°C	100	150	200	250	300			

Espansione termica	10 ⁻⁶ · K ⁻¹			▶	16.0	17.0	17.0	18.0	18.0
Modulo elastico ^{b)}	longitudinale	GPa	186	200	194	186	179	172	165
Numero di Poisson	ν			0.28					
Resistività elettrica	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$			0.72	0.78	0.86		1.00	1.11
Conduttività elettrica	Siemens·m/mm ²			1.39	1.28	1.16		1.00	0.90
Calore specifico	J/(Kg·K)			500					
Densità	Kg/dm ³			8.027					
Conducibilità termica	W/(m·K)			15.0	16.3				21.5
Permeabilità magnetica relativa	$\mu_r \text{ max}$			1.02 ^{a)}					

Temperature °C -196 20 100 200 300 400 500 600

Il simbolo ▶ indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C ^{a)} materiale solubilizzato

^{b)} Le deformazioni a freddo abbassano il modulo. Con un trattamento termico di distensione è possibile aumentarlo

Resistenza alla corrosione	Atmosfera		Azione chimica			x
Acqua dolce	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>	x
x	x	x	x	x		x

Magnetico no

Truciolabilità difficoltosa

Indurimento trafilatura e altre deformazioni plastiche a freddo

Temperatura di servizio max 400 °C per prodotti incruditi a freddo e max 780 °C per acciai formati a caldo

Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
X10CrNi18-8	S30100	301	1Cr17Ni7	07Ch16N6	SUS 302	X07Cr18Ni9	STS 302



Qualità materiale	X2CrNi18-10	Acciaio Inossidabile	Scheda Dati rev. 2014
Numero	1.4311	Austenitico	Lucefina Group

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S% ^{a)}	Cr%	Ni%	N%	
max	max	max	max	max				
0,03	1,00	2,00	0,045	0,015	17,5-19,5	8,5-11,5	0,12-0,22	EN 10088-1: 2005
+ 0.005	+ 0.05	+ 0.04	+ 0.005	+ 0.003	± 0.2	± 0.1	± 0.02	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

^{a)} Per migliorare la truciabilità è permesso zolfo 0,015% - 0,030%; per la lucidabilità è raccomandato un tenore di zolfo 0,015% max.

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Solubilizzazione +AT	Ricottura di lavorabilità +A	Saldatura MMA con elettrodi AWS
1460-1400	1200-950	1120-1000 acqua	non adatta	preriscaldamento post saldatura non necessario raffreddamento lento giunzione con acciai
Distensione +SR	Tempra +Q	Rinvenimento +T	Stabilizzazione	
450-230 forno	non adatta	non adatto	non necessaria	carbonio legati CrMo inossidabili E309-E308 E309-E308 E308 riparazione o riporto della base E308 L

Trattamento chimico - Decapaggio (15 - 25% HNO₃) + (1 - 8% HF) a caldo o a freddo (20 - 50% HNO₃)

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione		Prova di trazione a +20 °C							
mm	oltre	R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	HB ^{a)}	
	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	max	
	160	550-760	270	40		100		230	
	160	250	550-760	270	30		60	230	

^{a)} per informazione. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Prodotti piani EN 10028-7: 2007 +AT materiale solubilizzato

spessore		Prova di trazione a +20 °C						
mm	oltre	R	Rp 0.2	A ₅₀ (tr)	A ₅ (tr)	Kv +20 °C (l)	Kv +20 °C (tr)	Kv -196 °C (tr)
	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	% min	% min	J min	J min	J min
	8	550-750	290	40	40			
	13,5	550-750	270	40	40	100	60	60
	75	550-750	270	40	40	100	60	60

C = nastri laminati a freddo; H = nastri laminati a caldo; P = piatti laminati a caldo

(tr) = trasversale; (l) = longitudinale

Fucinato +AT materiale solubilizzato

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm	oltre	R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	Kv -196 °C
	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	J min (T)
	250	550-760	270		30	100	60	
	250	550-750	270	45	35	100	60	60

Laminato ASTM A 479 in condizione +AT

sezione		Prova di trazione a +20 °C			
mm	oltre	R	Rp 0.2	A%	C%
	fino a	N/mm ² min	N/mm ² min	min	min
	tutte	515	205	30	40

Curva di transizione determinata con resilienze Kv. Materiale solubilizzato a 1050 °C

EN 10028-7: 2007 - Materiale +AT														
Valore medio	J	62	85	180	200	232	236	245	270	290	°C	R	Rp 0.2	A
Prove a	°C	-253	-196	-160	-120	-80	-40	0	+40	+80		N/mm ²	N/mm ²	%
											+ 20	550	270	40
											-80	850	350	40
											-150	1050	450	35
											-196	1250	550	35



Tabella di incrudimento (laminato a caldo +AT+C). Valori indicativi

R	N/mm ²	620	800	950	1080	1180	1280	1390	1520	1580
Rp 0.2	N/mm ²	250	440	630	810	970	1120	1230	1380	1480
A	%	46	38	30	24	18	16	14	9	6
Riduzione	%	0	10	20	30	40	50	60	70	80

Valori minimi di snervamento e rottura a temperature elevate su materiale +AT solubilizzato EN 10088-3: 2005 / EN 10222-5: 2001

Rp 0.2	N/mm ²	205	175	157	145	136	130	125	121	119	118
R	N/mm ²	490	460	430	420	410	410				
Prova a	°C	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550

Espansione termica	10 ⁻⁶ · K ⁻¹		▶	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0		
Modulo elastico	longitudinale	GPa		200	194	186	179	172	165	
Modulo elastico	tangenziale	GPa		77	75	71	68	65	62	
Numero di Poisson	v			0.30						
Resistività elettrica	Ω · mm ² /m			0.73	0.78	0.86	0.91	1.00	1.02	1.11
Conduttività elettrica	Siemens·m/mm ²			1.37						
Calore specifico	J/(Kg·K)			500	500	520	530	540	540	
Densità	Kg/dm ³			7.90						
Conducibilità termica	W/(m·K)			15.0	16.0	17.5	19.0	20.5	22.0	
Permeabilità magnetica relativa	μ _{r max}			1.02						
°C				20	100	200	300	400	500	600

Il simbolo ▶ indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C

Resistenza alla corrosione	Atmosfera		Azione chimica			x intergranulare, petrolchimico, alimenti, tessile, tintoria
Acqua dolce	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>	
x	x	x	x	x		

Magnetico	no
Truciolabilità	buona
Indurimento	trafilatura e altre deformazioni plastiche a freddo
Temperatura di servizio in aria	fino a 850 °C in servizio continuo e 800 °C in servizio intermittente

Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
X2CrNi18-10	S30453	304LN	00Cr18Ni10N		SUS 304LN		STS 304LN



Qualità materiale	X2CrNiN23-4	Acciaio Inossidabile	Scheda Dati rev. 2014
Numero	1.4362	Austeno-Ferritico	Lucefin Group

Composizione chimica

C% max	Si% max	Mn% max	P% max	S% max	Cr%	Ni%	N%	Cu%	Mo%	
0,03	1,00	2,00	0,035	0,015	22,0-24,0	3,5-5,5	0,05-0,20	0,10-0,60	0,10-0,60	EN 10088-1: 2005
+ 0.005	+ 0.05	+ 0.04	+ 0.005	+ 0.003	± 0.25	± 0.07	± 0.02	± 0.07	± 0.03	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

Temperature °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Solubilizzazione +AT	Stabilizzazione	Ricottura di lavorabilità	Saldatura MMA con elettrodi AWS
1480-1460	1150-1000	1100-1020 acqua	non richiesta	non adatta	<i>periscaldamento</i> non necessario <i>post saldatura</i> solubilizzazione
Sensibilizzazione	Tempra +Q	Rinvenimento +T	Distensione +SR soste brevi	Ricristallizzazione +RA	giunzione con acciai
non adatta	non adatta	non adatta	600-550 aria	1050-950 raffr. rapido	carbonio legati CrMo inossidabili E2209 E309L E309LMO <i>riparazione o riporto della base</i> AWS A 5.9

Trattamento chimico • Decapaggio (52% HNO₃) + (65% HF) caldo • Passivazione 20 - 45% HNO₃ a freddo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione		Prova di trazione a +20 °C							
mm		R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv -40 °C (L)	HB ^{a)}	
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min ^{b)}	max	
	160	600-830	400	25		100	40	260 +AT solubilizzato	

^{a)} solo per informazione. (L) = longitudinale (T) = trasversale ^{b)} EN 10272 : 2003

Fucinato +AT materiale solubilizzato EN 10250-4: 2001

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm		R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	Kv -196 °C
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	J min (T)
	160	600-830	400	25	20	100	60	

Tabella di incrudimento (laminato a caldo +AT+C). Valori indicativi

R	N/mm ²	740	780	830	880	910	950
Rp 0.2	N/mm ²	520	690	720	800	840	870
A	%	40	38	34	28	25	16
Riduzione %		0	5	10	15	20	30

Valori minimi di snervamento e rottura a temperature elevate, materiale +AT EN 10028-7: 2007

Rp 0.2	N/mm ²	374 ^{a)}	330	300	280	265
R	N/mm ²	577 ^{a)}	540	520	500	490
Prove a	°C	50	100	150	200	250

^{a)} determinato per interpolazione lineare



X2CrNiN23-4 nr° 1.4362 austeno-ferritico						Lucefin Group	
Espansione termica	$10^{-6} \cdot K^{-1}$	►	13.0	13.5	14.0		
Modulo elastico	longitudinale	GPa	200	194	186	180	
Numero di Poisson	ν		0.33				
Resistività elettrica	$\Omega \cdot mm^2/m$		0.80				
Conduttività elettrica	Siemens	m/mm^2	1.25				
Calore specifico	J/(Kg·K)		482				
Densità	Kg/dm ³		7.75				
Conducibilità termica	W/(m·K)		15.0				
Permeabilità magnetica relativa	μ_r		magnetizzabile				
°C			20	100	200	300	
Il simbolo ► indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C							
Resistenza alla corrosione	Atmosfera		Azione chimica			x intercristallina,	
acqua salmastra	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>	tensocorrosione ,	
x	x	x	x	x		pitting	
Magnetico	si						
Truciolabilità	difficoltosa						
Indurimento	trafilatura e altre deformazioni plastiche a freddo						
Temperatura di servizio	non esporre per lunghi periodi a temperature oltre 300 ° C perché causa perdita di tenacità						
Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
X2CrNiN23-4	S32304	Type 2304	022Cr23Ni5Mo3N	03Ch23N6			



Qualità materiale	X5CrNiMo17-12-2	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4401	Austenitico	<i>Lucefin Group</i>

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S% ^{a)}	Cr%	Ni%	N%	Mo%	
max	max	max	max	max			max		
0,07	1,00	2,00	0,045	0,015	16,5-18,5	10,0-13,0	0,11	2,0-2,5	EN 10088-1: 2005
± 0.01	+ 0.05	+ 0.04	+ 0.005	+ 0.003	± 0.2	± 0.15	± 0.01	± 0.1	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

^{a)} Per migliorare la truciolabilità è permesso zolfo 0,015% - 0,030%; per la lucidabilità è raccomandato un tenore di zolfo 0,015% max.

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Solubilizzazione +AT	Stabilizzazione	Ricottura di lavorabilità +A	Saldatura MMA con elettrodi AWS
1400-1380	1200-900	1100-1050 acqua	non necessaria	non adatta	<i>periscaldamento post saldatura</i> non necessario raffreddamento lento
Sensibilizzazione	Tempra +Q	Rinvenimento +T	Distensione +SR	<i>giunzione con acciai carbonio legati CrMo inossidabili</i>	
prove di suscettibilità a 800-450	non adatta	non adatto	400 forno	E309-E308 E309-E308 E308 <i>riparazione o riporto della base</i> E 316 oppure E 16-8-2	

Trattamento chimico - Decapaggio (6 - 25% HNO₃) + (0.5 - 8% HF) a caldo - Passivazione 20 - 50% HNO₃ a caldo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione mm		Prova di trazione a +20 °C						
oltre	fino a	R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	HB ^{a)}
		N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	max
	160	500-700	200	40		100		215 +AT solubilizzato
160	250	500-700	200		30		60	215 +AT solubilizzato

^{a)} solo per informazione. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Barre trasformate a freddo di acciai trattati termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 2H, 2B, 2G, 2P

sezione mm		Prova di trazione a +20 °C						
oltre	fino a	R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	
		N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	
	10 ^{b)}	600-950	400	25				
10	16	580-950	380	25				+AT
16	40	500-850	200	30		100		materiale
40	63	500-850	200	30		100		solubilizzato
63	160	500-700	200	40		100		
160	250	500-700	200		30		60	

^{b)} nella gamma 1 mm ≤ d < 5 mm i valori sono validi solo per i tondi - le proprietà meccaniche delle barre non tonde con spessore < 5 mm devono essere concordate al momento della richiesta e dell'ordine. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Fucinato +AT materiale solubilizzato

sezione mm		Prova di trazione a +20 °C						
oltre	fino a	R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	Kv -196 °C
		N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	J min (T)
	250	500-700	200		30	100	60	
	250	510-710	205	45	35	100	60	60

Incrudito a freddo EN 10088-3: 2005 in condizione 2H (es. +AT+C)

sezione mm		Prova di trazione a +20 °C				
oltre	fino a	R	Rp 0.2	A%		
		N/mm ²	N/mm ² min	min		
	35	700-850	350	20	+AT+C700	materiale trafilato
	25	800-1000	500	12	+AT+C800	materiale trafilato

Curva di transizione determinata con resilienze Kv. Materiale solubilizzato a 1050 °C

Valore medio	J	198	206	218	225	238	245	250
Prove a	°C	-160	-120	-80	-40	0	+40	+80

Caratteristiche meccaniche indicative a bassa temperatura. Materiale solubilizzato a 1080 °C.

R	N/mm ²	580	820	1270	1440
Rp 0.2	N/mm ²	245	330	520	580
A	%	55	50	45	40
Prove a	°C	+24	-74	-196	-254



Tabella di incrudimento (laminato a caldo +AT+C). Valori indicativi. Incremento valore di rottura: ~ 13,8 N/mm² ogni 1% di riduzione

R	N/mm ²	550	660	800	1000	1110	1220	1320	1430
Rp 0.2	N/mm ²	260	510	640	790	840	920	1020	1120
A	%	50	22	14	13	10	8	8	8
Riduzione	%	0	10	20	30	40	50	60	70

Valori minimi di snervamento e rottura a temperature elevate su materiale +AT solubilizzato EN 10088-3: 2005 / EN 10269: 2001

Rp 0.2	N/mm ²	175	158	145	135	127	120	115	112	110	108
R	N/mm ²	460	440	420	415	410	410	410	405	390	375
Prova a	°C	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550

Espansione termica	10 ⁻⁶ • K ⁻¹		12.8	13.3	14.1	▶	16.0	16.5	17.0	17.5	18.8	20.2	
Modulo elastico	longitudinale	GPa						200	194	186	179	172	127
Numero di Poisson	ν							0.256	0.280				
Resistività elettrica	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	0.58		0.66			0.75	0.86		0.97	1.07	1.15	
Conduttività elettrica	Siemens•m/mm ²							1.33					
Calore specifico	J/(Kg•K)							500	510		550	585	630
Densità	Kg/dm ³							7.98					
Conducibilità termica	W/(m•K)							15.0	17.5		19.9	25.1	
Permeabilità magnetica relativa	μ_r							1.02					
°C			-184	-128	-74		20	100	200	300	400	600	800

Il simbolo ▶ indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C

Resistenza alla corrosione	Atmosfera		Azione chimica			x alogenuri, acidi solforico, fosforico, organici, formico
Acqua dolce	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>	
x	x	x	x	x	x	

Magnetico no

Truciolabilità bassa

Indurimento trafilatura e altre deformazioni plastiche a freddo

Temperatura di servizio in aria fino 850 °C in servizio continuo e 800 °C in servizio intermittente

Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
X5CrNiMo17-12-2	S31600	316	0Cr17Ni12Mo2	08Ch17N13M2	SUS 316	X04Cr17Ni12Mo2	STS 316



Qualità materiale	X2CrNiMo17-12-2	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4404	Austenitico	<i>Lucefin Group</i>

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S% ^{a)}	Cr%	Ni%	N%	Mo%	
max	max	max	max	max			max		
0,03	1,00	2,00	0,045	0,015	16,5-18,5	10,0-13,0	0,11	2,0-2,5	EN 10088-1: 2005
± 0.005	+ 0.05	+ 0.04	+ 0.005	+ 0.003	± 0.2	± 0.15	± 0.01	± 0.1	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

^{a)} Per migliorare la truciolabilità è permesso zolfo 0,015% - 0,030%; per la lucidabilità è raccomandato un tenore di zolfo 0,015% max.

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Solubilizzazione +AT	Stabilizzazione	Ricottura di lavorabilità +A	Saldatura MMA con elettrodi AWS
1400-1380	1200-925	1110-1040 acqua	885 aria calma	non adatta	<i>preriscaldamento non necessario</i> <i>post saldatura raffreddamento lento</i>
Sensibilizzazione	Tempra +Q	Rinvenimento +T	Saldatura con acciai carbonio legati CrMo inossidabili		
prove di suscettibilità a 700-450	non adatta	non adatto	E309-E308 E309-E308 E308 <i>riparazione o riporto della base</i> E 316L		

Trattamento chimico - Decapaggio (6 - 25% HNO₃) + (0.5 - 8% HF) a caldo - Passivazione 20 - 50% HNO₃ a caldo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm		R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	HB ^{a)}
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	max
	160	500-700	200	40		100		215 +AT solubilizzato
160	250	500-700	200		30		60	215 +AT solubilizzato

^{a)} solo per informazione. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Barre trasformate a freddo di acciai trattati termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 2H, 2B, 2G, 2P

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm		R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	
	10 ^{b)}	600-930	400	25				
10	16	580-930	380	25				+AT
16	40	500-830	200	30		100		materiale
40	63	500-830	200	30		100		solubilizzato
63	160	500-700	200	40		100		
160	250	500-700	200		30		60	

^{b)} nella gamma 1 mm ≤ d < 5 mm i valori sono validi solo per i tondi - le proprietà meccaniche delle barre non tonde con spessore < 5 mm devono essere concordate al momento della richiesta e dell'ordine. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Fucinato +AT materiale solubilizzato

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm		R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	Kv -196 °C
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	J min (T)
	250	500-700	200		30	100	60	
	250	490-690	190	45	35	100	60	60
								EN 10250-4
								EN 10222-5

Incrudito a freddo EN 10088-3: 2005 in condizione 2H (es. +AT+C)

sezione		Prova di trazione a +20 °C							
mm		R	Rp 0.2	A%					
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min					
	35	700-850	350	20	+AT+C700 materiale trafilato				
	25	800-1000	500	12	+AT+C800 materiale trafilato				

Tabella di incrudimento (laminato a caldo +AT+C). Valori indicativi

Valori indicativi - Materiale +AT													
R	N/mm ²	500	650	790	850	940	1030	1100	1200	°C	R	Rp 0.2	A
Rp 0.2	N/mm ²	200	520	700	760	830	920	1000	1080		N/mm ²	N/mm ²	%
A	%	55	30	14	12	10	9	8	8	+24	520	220	45
Riduzione	%	0	10	20	30	40	50	60	70	-80	840	275	40
										-196	1200	350	35



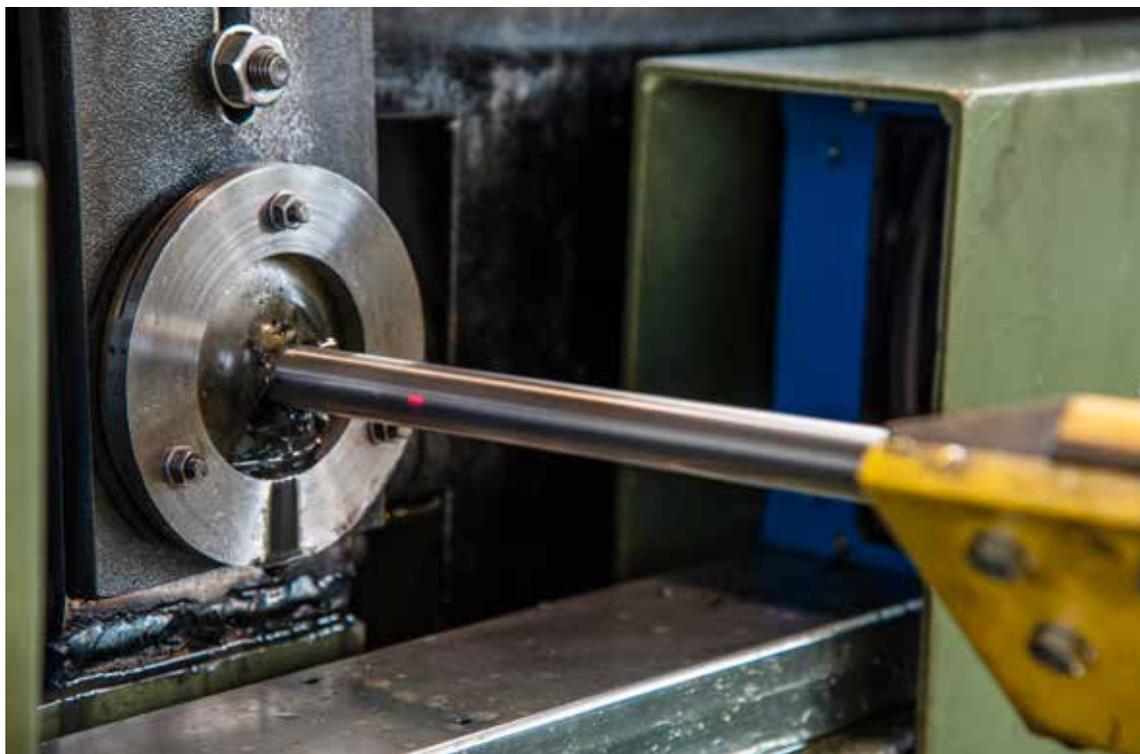
Valori minimi di snervamento e rottura a temperature elevate, materiale +AT solubilizzato EN 10088-3: 2005 / EN 10269: 2001

Rp 0.2	N/mm ²	165	150	137	127	119	113	108	103	100	99
R	N/mm ²	430	410	390	385	380	380	380	375	360	335
Prova a	°C	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550

Espansione termica	10 ⁻⁶ · K ⁻¹	▶	16.0	16.5	17.0	17.5					
Modulo elastico	longitudinale	GPa	200	194	186	179	172			127	
Numero di Poisson	ν		0.256	0.280							
Resistività elettrica	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$		0.75								
Conduttività elettrica	Siemens·m/mm ²		1.33								
Calore specifico	J/(Kg·K)		500								
Densità	Kg/dm ³		8.00								
Conducibilità termica	W/(m·K)		15.0								
Permeabilità magnetica relativa	μ_r		1.02								
°C			20	100	200	300	400	600	800		

Il simbolo ▶ indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C

Resistenza alla corrosione	Atmosfera		Azione chimica			x intercristallina, vaiolatura da cloruri, sali, acidi organici	
Acqua dolce	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>		
x	x	x	x	x	x		
Magnetico	no						
Truciolabilità	alta						
Indurimento	trafilatura e altre deformazioni plastiche a freddo						
Temperatura di servizio in aria	fino a 850 °C in servizio continuo e 800 °C in servizio intermittente						
Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
X2CrNiMo17-12-2	S31603	316L	022Cr17Ni12Mo2	03Ch17N13M2	SUS 316L	X02Cr17Ni12Mo2	STS 316L



Qualità materiale	X2CrNiMo18-14-3	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4435	Austenitico	<i>Lucefin Group</i>

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S% ^{a)}	Cr%	Ni%	N%	Mo%	
max	max	max	max	max			max		
0,03	1,00	2,00	0,045	0,015	17,0-19,0	12,5-15,0	0,11	2,5-3,0	EN 10088-1: 2005
± 0.005	+ 0.05	+ 0.04	+ 0.005	+ 0.005	± 0.2	± 0.15	± 0.01	± 0.1	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

^{a)} Per migliorare la truciolabilità è permesso zolfo 0,015% - 0,030%

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Solubilizzazione +AT	Stabilizzazione	Ricottura di lavorabilità +A	Saldatura MMA con elettrodi AWS
1450-1400	1150-980	1180-1120 acqua	non necessaria	non adatta	<i>preriscaldamento non necessario</i> <i>post saldatura raffreddamento lento</i>
Sensibilizzazione	Tempra +Q	Rinvenimento +T	<i>giunzione con acciai carbonio legati CrMo inossidabili</i>		
non necessaria	non adatta	non adatto	<i>E309-E308 E309-E308 E308</i> <i>riparazione o riporto della base E 316L</i>		

Trattamento chimico - Decapaggio (6 - 25% HNO₃) + (0.5 - 8% HF) a caldo - Passivazione 20 - 50% HNO₃ a caldo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione		Prova di trazione a +20 °C							
mm		R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	HB ^{a)}	
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	max	
	160	500-700	200	40		100		215	+AT solubilizzato
	160	250	500-700	200	30		60	215	+AT solubilizzato
		660	320	55		210		200	Valori tipici

^{a)} solo per informazione. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Barre trasformate a freddo di acciai trattati termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 2H, 2B, 2G, 2P

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm		R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	
	10 ^{b)}	600-950	400	25				
	10	16	600-950	400	25			+AT
	16	40	500-850	235	30	100		materiale
	40	63	500-850	235	30	100		solubilizzato
	63	160	500-700	235	40	100		
	160	250	500-700	235	30		60	

^{b)} nella gamma 1 mm ≤ d < 5 mm i valori sono validi solo per i tondi - le proprietà meccaniche delle barre non tonde con spessore < 5 mm devono essere concordate al momento della richiesta e dell'ordine. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Fucinato EN 10250-4: 2001

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm		R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	
	250	500-700	200		30	100	60	+AT materiale solubilizzato

Curva di transizione determinata con resilienze Kv. Materiale solubilizzato a 1050 °C

Valore medio	J	190	210	215	220	230	240	250
Prove a	°C	-160	-120	-80	-40	0	+40	+80

Tabella di incrudimento (laminato a caldo +AT+C). Valori indicativi

R	N/mm ²	640	780	900	1050	1180	1280	1350	1400
Rp 0.2	N/mm ²	320	640	800	910	1000	1080	1120	1190
A	%	50	30	18	12	8	8	8	7
Riduzione	%	0	10	20	30	40	50	60	70



Valori minimi di snervamento e rottura a temperature elevate, materiale +AT solubilizzato

Rp 0.2	N/mm ²	165	150	137	127	119	113	108	103	100	98
R	N/mm ²	420	400	380	375	370	370				
Prova a	°C	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
Espansione termica	10 ⁻⁶ · K ⁻¹		▶	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0			
Modulo elastico	GPa		200	194	186	179	172	165			
Numero di Poisson	v		0.28								
Resistività elettrica	Ω · mm ² /m		0.75								
Conduttività elettrica	Siemens·m/mm ²		1.33								
Calore specifico	J/(Kg·K)		500								
Densità	Kg/dm ³		8.00								
Conducibilità termica	W/(m·K)		15.0								
Permeabilità magnetica relativa	μr		1.1 ~								
°C			20	100	200	300	400	500			

Il simbolo ▶ indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C

Resistenza alla corrosione	Atmosfera		Azione chimica			x intercristallina, alimenti, acidi (organici, solforico, fosforico), petrolio
Acqua dolce	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>	
x	x	x	x	x		
Magnetico	no					
Truciolabilità	media					
Indurimento	trafilatura e altre deformazioni plastiche a freddo					
Temperatura di servizio in aria	fino a 850 °C in servizio continuo e 800 °C in servizio intermittente					

Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
X2CrNiMo18-14-2	(S31603)	(316L)	00Cr18Ni15Mo3	03Ch17N14M3	(SUS 316L)	(X02Cr17Ni12Mo2)	(STS 316L)



Qualità materiale	X2CrNiMoN22-5-3	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4462 ^{a)}	Austeno-Ferritico	<i>Lucefin Group</i>

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Ni%	N%	Mo%	
max	max	max	max	max					
0,03	1,00	2,00	0,035	0,015	21,0-23,0	4,5-6,5	0,10-0,22	2,5-3,5	EN 10088-1: 2005
± 0.005	+ 0.05	+ 0.04	+ 0.005	+ 0.003	± 0.25	± 0.10	± 0.02	± 0.10	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

^{a)} Previo accordo, questo acciaio può essere fornito con valore, di resistenza al pitting, maggiore di 34 (PRE = Cr + 3,3Mo + 16N)

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Solubilizzazione +AT	Stabilizzazionalizzazione	Ricottura di lavorabilità +A	Saldatura MMA con elettrodi AWS
1440-1390	1150-950	1100-1020 acqua	non adatta	non adatta	<i>preriscaldamento</i> 100 <i>post saldatura</i> solubilizzazione
Infragilimento	Precipitazione di carburi	Formazione fase sigma	Distensione +SR soste brevi	Ricristallizzazione +RA	giunzione con acciai carbonio legati CrMo inossidabili
475	800-450	950-700	600-550 aria	1100-1020 raffr. rapido	E309L-16 E309MoL-15 E317L <i>riparazione o riporto della base</i> E 2209-17

Trattamento chimico - Decapaggio (52% HNO₃) + (65% HF) caldo - Passivazione 20 - 45% HNO₃ a freddo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione	Prova di trazione a +20 °C						
mm	R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv -40 °C (L)	HB ^{a)}
oltre fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min ^{b)}	max
160	650-880	450	25		100	40	270 +AT solubilizzato

^{a)} solo per informazione. (L) = longitudinale (T) = trasversale ^{b)} EN 10272 : 2003

Barre trasformate a freddo di acciai trattati termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 2H, 2B, 2G, 2P

sezione	Prova di trazione a +20 °C						
mm	R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	
oltre fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	
10 ^{b)}	850-1150	650	12				
10	16	850-1100	650	12			+AT
16	40	650-1000	450	15	100		materiale
40	63	650-1000	450	15	100		solubilizzato
63	160	650-880	450	25	100		

^{b)} nella gamma 1 mm ≤ d < 5 mm i valori sono validi solo per i tondi - le proprietà meccaniche delle barre non tonde con spessore < 5 mm devono essere concordate al momento della richiesta e dell'ordine. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Fucinato +AT materiale solubilizzato EN 10250-4: 2001

sezione	Prova di trazione a +20 °C							
mm	R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	Kv -196 °C	
oltre fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	J min (T)	
350	650-880	450	25	20	100	60		

Incrudito a freddo EN 10263-5: 2003

sezione	Prova di trazione a +20 °C					
mm	R	Z%			R	Z%
oltre fino a	N/mm ²	min			N/mm ²	min
5	10	1020 max		+AT+C	900 max	55 +AT+C+AT
10	25	1000 max		+AT+C	880 max	55 +AT+C+AT

Tabella di incrudimento (laminato a caldo +AT+C). Valori indicativi

R	N/mm ²	750	850	1000	1120	1210	1300	1340	1370	1370
Rp 0.2	N/mm ²	560	800	960	1080	1160	1270	1280	1330	1350
A	%	34	23	13	8	6	5	4,5	3	2
Riduzione	%	0	10	20	30	40	50	60	70	80

Dopo deformazione a freddo con riduzione oltre il 10% si consiglia un trattamento di solubilizzazione



Valori minimi di snervamento e rottura a temperature elevate, materiale +AT solubilizzato EN 10028-7: 2007

Rp 0.2	N/mm ²	422 a)	360	335	315	300
R	N/mm ²	621 a)	590	570	550	540
Prova a	°C	50	100	150	200	250

a) determinato per interpolazione lineare

Espansione termica	10 ⁻⁶ · K ⁻¹	►	13.0	13.5	14.0	
Modulo elastico	longitudinale GPa		200	194	186	180
Numero di Poisson	ν		0.25			
Resistività elettrica	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$		0.80	0.85	0.90	1.00
Conduttività elettrica	Siemens·m/mm ²		1.25			
Calore specifico	J/(Kg·K)		500	530	560	590
Densità	Kg/dm ³		7.8			
Conducibilità termica	W/(m·K)		15.0	16.0	17.0	18.0
Permeabilità magnetica relativa	μ_r		magnetizzabile			
°C			20	100	200	300

Il simbolo ► indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C

Resistenza alla corrosione acqua salmastra	Atmosfera		Azione chimica			x intercristallina, pitting, crevice, tensocorrosione
	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>	
x	x	x	x	x		

Magnetico si

Truciolabilità difficoltosa

Indurimento trafilatura e altre deformazioni plastiche a freddo

Temperatura di servizio Usato nei recipienti in pressione fino a -200 °C. Non impiegare oltre i +340 °C. Ossidazione in aria 1000 °C

Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
X2CrNiMoN22-5-3	S31803	Type 2205	022Cr22Ni5Mo3N	02Ch22N5AM2	(SUS 329J3L)		(STS 329J3L)



Qualità materiale	X2CrNiMoCuWN25-7-4	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4501	Austeno-Ferritico	Lucefin Group

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Ni%	N%	Mo%	Cu%	W%	
max	max	max	max	max							EN 10088-1:
0,03	1,00	1,00	0,035	0,015	24,0-26,0	6,0-8,0	0,20-0,30	3,0-4,0	0,5-1,0	0,5-1,0	2005
± 0.005	+ 0.05	+ 0.03	+ 0.005	+ 0.003	± 0.25	± 0.10	± 0.02	± 0.10	± 0.07	± 0.05	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

PRE (Cr+3,3Mo+16N) > 40 (equivalente di resistenza al Pitting)

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Solubilizzazione +AT	Stabilizzazione	Ricottura di lavorabilità +A	Saldatura MMA con elettrodi AWS
1480-1440	1250-1100	1120-1050 acqua	non adatta	non adatta	<i>preriscaldamento post saldatura</i>
Infragilimento	Precipitazione di carburi	Formazione fase sigma	Distensione +SR	Ricristallizzazione +RA	sconsigliata <i>giunzione con acciai carbonio legati CrMo inossidabili</i>
-50 +300	950-600	1000-600	non adatta	non adatta	<i>riparazione o riporto della base</i>

Trattamento chimico - Decapaggio (52% HNO₃) + (65% HF) caldo - Passivazione 20 - 45% HNO₃ a freddo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione		Prova di trazione a +20 °C							
mm	fino a	R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	Kv -40 °C (L)	HB ^{a)}
oltre		N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	J min ^{b)}	max
	160	730-930	530	25		100		40	290
	75 ^{c)}	730-930	530	25	25	100	60		+AT solubilizzato

^{a)} solo per informazione. ^{b)} EN 10272 : 2003. ^{c)} EN 10088-2 : 2005. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Deformazione a freddo

L'acciaio 1.4501 può essere trafilato, laminato a freddo, imbutito ecc. con l'accortezza di non superare riduzioni del 10% - 20%.

L'incrudimento dovrà essere poi rimosso mediante solubilizzazione perché le deformazioni a freddo inducono durezza superiori a quelle imposte dagli standard ISO 15156 / NACE MR0175.

Fucinato +AT materiale solubilizzato EN 10250-4: 2001

sezione		Prova di trazione a +20 °C					
mm	fino a	R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C
oltre		N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)
	160	730-930	530	25	20	100	60

Valori tipici a temperature elevate, piatti trasformati a caldo +AT (Rolled Alloys US data sheet)

Temperatura di prova		spessore fino a 30 mm.		spessore da 31 a 70 mm	
°C	°F	R	Rp 0.2	R	Rp 0.2
		N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
20	68	780	580	750	550
50	122	725	500	700	470
100	212	700	470	670	430
150	302	680	450	620	400
200	392	670	430	610	380
250	482	650	400	600	370
300	572	635	385	590	360



X2CrNiMoCuWN25-7-4 n° 1.4501 austeno-ferritico

Valori minimi di snervamento e rottura a temperature elevate, materiale +AT solubilizzato EN 10028-7: 2007

Rp 0.2	N/mm ²	500 ^{a)}	450	420	400	380
R	N/mm ²	711 ^{a)}	680	660	640	630
Prova a	°C	50	100	150	200	250

^{a)} determinato per interpolazione lineare

Espansione termica	10 ⁻⁶ · K ⁻¹	▶	13.0	13.5	14.0	
Modulo elastico	longitudinale GPa		200	194	186	180
Numero di Poisson	ν		0.32			
Resistività elettrica	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$		0.80	0.89	0.95	1.01
Conduttività elettrica	Siemens·m/mm ²		1.25			
Calore specifico	J/(Kg·K)		500		523	547
Densità	Kg/dm ³		7.8			
Conducibilità termica	W/(m·K)		15.0		16.3	18.2
Permeabilità magnetica relativa	μ_r		29			
°C			20	100	200	300

Il simbolo ▶ indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C

Resistenza alla corrosione acqua salmastra	Atmosfera		Azione chimica			x erosione, pitting, crevice, a. organici e inorganici tensocorrosione
	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>	
x	x	x	x			

Magnetico	si
Truciolabilità	maggior usura degli utensili rispetto agli austenitici
Indurimento	trafilatura e altre deformazioni plastiche a freddo
Temperatura di servizio	non impiegare a temperature superiori a +300 °C e inferiori a -50 °C

Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
X2CrNiMoCuWN25-7-4	S32760	Type F 55	022Cr25Ni7Mo3WCuN		SM25Cr		



Qualità materiale	X6CrNiTi18-10	Acciaio Inossidabile	Scheda Dati rev. 2014
Numero	1.4541	Austenitico	Lucefin Group

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S% a)	Cr%	Ni%	Ti%	
max	max	max	max	max			max	
0,08	1,00	2,00	0,045	0,015	17,0-19,0	9,0-12,0	> 5 x C < 0,70	EN 10088-1: 2005
± 0.01	+ 0.05	± 0.04	+ 0.005	+ 0.003	± 0.2	± 0.1	± 0.05	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

a) Per migliorare la truciabilità è permesso zolfo 0,015% - 0,030%; per la lucidabilità è raccomandato un tenore di zolfo 0,015% max.

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Solubilizzazione +AT	Stabilizzazione	Ricottura di lavorabilità +A	Saldatura MMA con elettrodi AWS
1430-1400	1200-1000	1200-1150 acqua	900-840 aria calma	non adatta	preiscaldamento non necessario post saldatura raffreddamento lento
Sensibilizzazione	Tempra +Q	Rinvenimento +T	giunzione con acciai carbonio legati CrMo inossidabili E309-E308 E309-E308 E308-E347 riparazione o riporto della base E347		
non adatta	non adatta	non adatto			

Trattamento chimico = Decapaggio (6 - 25% HNO₃) + (0.5 - 8% HF) a caldo o a freddo. Passivazione 20 - 45% HNO₃ a freddo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm	R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	HB a)	
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	max
	160	500-700	190	40		100		215
	160	500-700	190		30		60	215

a) solo per informazione. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Barre trasformate a freddo di acciai trattati termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 2H, 2B, 2G, 2P

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm	R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C		
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	
	10 b)	600-950	400	25				
	10	580-950	380	25				+AT
	16	500-850	190	30		100		materiale
	40	500-850	190	30		100		solubilizzato
	63	500-700	190	40		100		

b) nella gamma 1 mm ≤ d < 5 mm i valori sono validi solo per i tondi - le proprietà meccaniche delle barre non tonde con spessore < 5 mm devono essere concordate al momento della richiesta e dell'ordine. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Fucinato +AT materiale solubilizzato

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm	R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	Kv -196 °C	
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	J min (T)
	450	500-700	190		30	100	60	
	450	510-710	200	40	30	100	60	60

Incrudito a freddo EN 10088-3: 2005 in condizione 2H (es. +AT+C)

sezione		Prova di trazione a +20 °C			
mm	R	Rp 0.2	A%		
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min	
	35	700-850	350	20	+AT+C700 materiale trafilato
	25	800-1000	500	12	+AT+C800 materiale trafilato

Curva di transizione determinata con resilienze Kv. Materiale solubilizzato a 1050 °C									Valori indicativi - Materiale +AT			
Valore medio	J	230	240	240	250	250	260	260	°C	R	Rp 0.2	A
Prove a	°C	-160	-120	-80	-40	0	+40	+80		N/mm ²	N/mm ²	%
									+24	500	200	40
									-80	855	300	35
									-196	1440	380	30
									-254	1645	630	20



Tabella di incrudimento (laminato a caldo +AT+C). Valori indicativi

R	N/mm ²	600	710	850	1000	1120	1240	1360	1500	1600
Rp 0.2	N/mm ²	280	600	760	880	990	1100	1200	1330	1390
A	%	38	20	9	8	8	8	8	8	8
Riduz.	%	0	10	20	30	40	50	60	70	75

Valori minimi di snervamento a temperature elevate su materiale +AT solubilizzato EN 10088-3: 2005

Rp 0.2	N/mm ²	175	165	155	145	136	130	125	121	119	118
Prova a	°C	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550

Espansione termica	10 ⁻⁶ · K ⁻¹	▶	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	
Modulo elastico	longitudinale	GPa	200	194	186	179	172	165
Numero di Poisson	ν		0.30	0.30	0.31	0.32		
Resistività elettrica	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$		0.73					
Conduttività elettrica	Siemens·m/mm ²		1.37					
Calore specifico	J/(Kg·K)		500					
Densità	Kg/dm ³		7,90					
Conducibilità termica	W/(m·K)		15.0					
Permeabilità magnetica relativa	μ_r		1.02					
°C			20	100	200	300	400	500

Il simbolo ▶ indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C

Resistenza alla corrosione	Atmosfera		Azione chimica			x intergranulare, acque urbane e rurali, forni industriali
Acqua dolce	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>	
x	x	x	x	x		

Magnetico	no
Truciolabilità	bassa sul materiale incrudito a freddo
Indurimento	trafilatura e altre deformazioni plastiche a freddo
Temperatura di servizio in aria	fino a 850 °C in servizio continuo e 750 °C in servizio intermittente

Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
X6CrNiTi18-10	S32100	321	0Cr18Ni11Ti	06Ch18N10T	SUS 321	X04Cr18Ni10Ti	STS 321



Qualità materiale	X5CrNiCuNb16-4	Acciaio Inossidabile	Scheda Dati rev. 2014
Numero	1.4542 (17-4 PH)	Indurente per precipitazione	Lucefin Group

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S% ^{a)}	Cr%	Ni%	Cu%	Nb%	
max	max	max	max	max					
0,07	0,70	1,50	0,040	0,015	15,0-17,0	3,0-5,0	3,0-5,0	5 x C < 0,70	EN 10088-1: 2005
± 0.01	+ 0.05	± 0.04	+ 0.005	+ 0.003	± 0.2	± 0.07	± 0.10	± 0.05	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

^{a)} Per migliorare la truciolabilità è permesso zolfo 0,015% - 0,030%; per la lucidabilità è raccomandato un tenore di zolfo 0,015% max.

Temperature in °C Sono consigliate atmosfere protette costituite da argon oppure elio, evitando l'azoto.

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Solubilizzazione +AT	Invecchiamento artificiale +P	Saldatura MMA con elettrodi AWS
1440-1400	1175-1095	1060-1030 olio, aria (HB max 360)	+P800 760 aria + 620 aria	preriscaldamento 100-200 post saldatura invecchiamento
Distensione +SR	Ricottura di laminazione		+P930 620 aria	+P960 590 aria
660-600 forno	1050-1020 (1038) aria/olio sotto Mf (HB max 229)		+P1070 550 aria	+P1300 480 olio

giunzione con acciai
carbonio legati CrMo inossidabili
E308L ER630 E630-16

riparazione o riporto della base
E630-16

Temperature di trasformazione in fase di riscaldamento **Ac1** ~ 627, **Ac3** ~ 704 e in fase di raffreddamento **Ms** ~ 130, **Mf** ~ 30

Trattamento chimico • Decapaggio (6 - 25% HNO₃) + (0.5 - 8% HF) a caldo o a freddo. Passivazione 20 - 25% HNO₃ a caldo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione		Prova di trazione a +20 °C							condizione di trattamento
mm	R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	HB ^{a)}		
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	max	
	100	1200 max						360	
	100	800-950	520	18		75			
	100	930-1100	720	16		40			
	100	960-1160	790	12					
	100	1070-1270	1000	10					

^{a)} solo per informazione. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Barre trasformate a freddo di acciai trattati termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 2H, 2B, 2G, 2P

sezione		Prova di trazione a +20 °C							condizione di trattamento
mm	R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C			
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)		
	10 ^{b)}	900-1100	600	10					
	16	900-1100	600	10					
	16	800-1050	520	12		75		+P800	
	40	800-1000	520	18		75			
	63	800-950	520	18		75			
	100	930-1100	720	12		40		+P930	
	100	960-1160	790	10				+P960	
	100	1070-1270	1000	10				+P1070	

^{b)} nella gamma 1 mm ≤ d < 5 mm i valori sono validi solo per i tondi - le proprietà meccaniche delle barre non tonde con spessore < 5 mm devono essere concordate al momento della richiesta e dell'ordine. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Fucinato materiale solubilizzato e invecchiato artificialmente EN 10250-4: 2001

sezione		Prova di trazione a +20 °C							condizione di trattamento
mm	R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C			
oltre	fino a	N/mm ² min	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)		
	250	930	720	15	12	40	30	+P930	
	250	1070	1000	12	10	20	15	+P1070	
	250	1300	1150	8	6			+P1300	

Temperature di invecchiamento artificiale / durezze. Materiale solubilizzato a 1040 °C. Valori indicativi

HRC	34	34	38	43	47	42	36	33
HV 10	336	336	372	423	458	412	354	327
N/mm ²	1050	1050	1180	1390	1700	1340	1110	1030
°C	100	200	300	400	450	500	600	650



Tabella di incrudimento (laminato a caldo, +AT solubilizzato e trafilato). Valori indicativi

R	N/mm ²	880	960	1000	1020	1060	1100	1120	1160	1200	1260
Rp 0.2	N/mm ²	700	820	860	900	980	1000	1000	1020	1050	1080
A	%	20	12	11	10	8	8	8	8	8	8
Riduzione	%	0	10	15	20	30	40	50	60	70	75

Snervamento a temperature elevate su materiale solubilizzato e invecchiato EN 10088-3: 2005

condizione di trattamento

Rp 0.2	N/mm ²	500	490	480	470	460					
Rp 0.2	N/mm ²	680	660	640	620	600					
Rp 0.2	N/mm ²	730	710	690	670	650					
Rp 0.2	N/mm ²	880	830	800	770	750					
Prova a	°C	100	150	200	250	300					

Espansione termica	10 ⁻⁶ · K ⁻¹	▶	10.8	11.0	11.3	11.6	12.0				
Modulo elastico	longitudinale GPa	200	193	186	180	175	170				
Numero di Poisson	ν	0.291									
Resistività elettrica	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	0.71									
Conduttività elettrica	Siemens·m/mm ²	1.41									
Calore specifico	J/(Kg·K)	500									
Densità	Kg/dm ³	7,80									
Conducibilità termica	W/(m·K)	14.0	16	18.5	20.0	22.0	23.0				
Permeabilità magnetica	μ_r	max 135									
°C		20	100	200	300	400	500				

Il simbolo ▶ indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C

Resistenza alla corrosione	Atmosfera		Azione chimica			x petrolchimico, corr. sotto tensione, alimentare
Acqua dolce	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>	
x	x	x	x	x		

Magnetico	si
Truciolabilità	correlata alla durezza
Indurimento	mediante invecchiamento artificiale
Temperatura di servizio in aria	non impiegare a temperature superiori a quelle di invecchiamento artificiale (max 540 °C)

Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
X5CrNiCuNb16-4	S17400	Type 630	05Cr17Ni4Cu4Nb		SUS 630		STS 630



Qualità materiale	X3CrNiCu18-9-4	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4567	Austenitico	<i>Lucifin Group</i>

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S% ^{a)}	Cr%	Ni%	N%	Cu% ^{b)}	
max	max	max	max	max			max		
0,04	1,00	2,00	0,045	0,015	17,0-19,0	8,5-10,5	0,11	3,0-4,0	EN 10088-1: 2005
± 0.01	+ 0.05	+ 0.04	+ 0.005	+ 0.003	± 0.2	± 0.1	± 0.01	± 0.1	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

^{a)} Per migliorare la truciolabilità è permesso zolfo 0,015% - 0,030%; per la lucidabilità è raccomandato un tenore di zolfo 0,015% max.

^{b)} Per materiale destinato all'incrudimento a freddo e all'estrusione è permesso un contenuto di rame max 1%

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Solubilizzazione +AT	Stabilizzazione	Ricottura di lavorabilità +A	Saldatura MMA con elettrodi AWS
1450-1400	1200-900	1100-1000 acqua	non necessaria	non adatta	<i>preriscaldamento</i> non necessario <i>post saldatura</i> raffreddamento lento
Sensibilizzazione	Tempra +Q	Rinvenimento +T			<i>giunzione con acciai</i> carbonio legati CrMo inossidabili
prove di suscettibilità a 700-450	non adatta	non adatto			E 316L E 316L E 316L <i>riparazione o riporto della base</i> E 316L

Trattamento chimico - Decapaggio (6 - 25% HNO₃) + (0.5 - 8% HF) a caldo o a freddo. **Passivazione** 20 - 45% HNO₃ a freddo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione mm		Prova di trazione a +20 °C						
	oltre	R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	HB ^{a)}
	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	max
	160	450-650	175	45				215 +AT solubilizzato

^{a)} solo per informazione. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Barre trasformate a freddo di acciai trattati termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 2H, 2B, 2G, 2P

sezione mm		Prova di trazione a +20 °C						
	oltre	R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	
	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	
	10 ^{b)}	600-850	400	25				
10	16	600-850	340	25				+AT
16	40	450-800	175	30		100		materiale
40	63	450-800	175	30		100		solubilizzato
63	160	450-650	175	40		100		

^{b)} nella gamma 1 mm ≤ d < 5 mm i valori sono validi solo per i tondi - le proprietà meccaniche delle barre non tonde con spessore < 5 mm devono essere concordate al momento della richiesta e dell'ordine. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Fucinato

sezione mm		Prova di trazione a +20 °C						
	oltre	R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	HB ^{a)}	
	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	max	
							215	+AT solubilizzato

^{a)} solo per informazione

Tabella di incrudimento (laminato a caldo +AT+C). Valori indicativi

R	N/mm ²	560	720	820	940	1010	1120	1180	1300	1380
Rp 0.2	N/mm ²	300	560	710	820	900	990	1070	1200	1270
A	%	60	30	18	12	10	8	8	8	8
Riduzione	%	0	10	20	30	40	50	60	70	75



X3CrNiCu18-9-4 n° 1.4567 austenitico							Lucefin Group	
Espansione termica	$10^{-6} \cdot K^{-1}$	►	16.7	17.2	17.7	18.1		
Modulo elastico	longitudinale	GPa	200	194	186	179	172	127
Numero di Poisson	ν		0.28					
Resistività elettrica	$\Omega \cdot mm^2/m$		0.73					
Conduttività elettrica	Siemens	m/mm^2	1.33					
Calore specifico	J/(Kg·K)		500					
Densità	Kg/dm ³		8.027					
Conducibilità termica	W/(m·K)		15.0	16.6				
Permeabilità magnetica relativa	μ_r max		1.02					
°C			20	100	200	300	400	600 800
Il simbolo ► indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C								
Resistenza alla corrosione	Atmosfera		Azione chimica			x intercristallina, acque urbane, pitting, tensocorrosione		
Acqua dolce	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>			
x	x	x	x	x				
Magnetico	no							
Truciolabilità	alta							
Indurimento	trafilatura e altre deformazioni plastiche a freddo							
Temperatura di servizio in aria	fino a 850 °C in servizio continuo e 800 °C in servizio intermittente							
Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea	
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS	
X3CrNiCu18-9-4	S30430	(~304Cu)	06Cr18Ni9Cu3		SUS XM7		STS XM7	



Qualità materiale	X6CrNiCuS18-9-2	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4570	Austenitico	<i>Lucefin Group</i>

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Ni%	N%	Cu% ^{b)}	Mo%	
max	max	max	max				max		max	
0,08	1,00	2,00	0,045	0,15-0,35	17,0-19,0	8,0-10,0	0,11	1,40-1,80	0,60	EN 10088-1: 2005
± 0.01	+ 0.05	+ 0.04	+ 0.005	± 0.02	± 0.2	± 0.1	± 0.01	± 0.1	± 0.03	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

^{b)} Per materiale destinato all'incrudimento a freddo e all'estrusione è permesso un contenuto di rame max 1%

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Solubilizzazione +AT	Stabilizzazione	Ricottura di lavorabilità +A	Saldatura MMA con elettrodi AWS
1460-1450	1150-900	1100-1050 acqua	non necessaria	non adatta	<i>preiscaldamento post saldatura</i> non saldabile
Sensibilizzazione	Tempra +Q	Rinvenimento +T			<i>giunzione con acciai</i> carbonio legati CrMo inossidabili
prove di suscettibilità a 800-450	non adatta	non adatto			<i>riparazione o riporto della base</i>

Trattamento chimico - Decapaggio (6 - 25% HNO₃) + (0.5 - 8% HF) a caldo o a freddo. Passivazione 20 - 45% HNO₃ a freddo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm		R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	HB ^{a)}
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	max
	160	500-710	185	35				215 +AT solubilizzato

^{a)} solo per informazione. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Barre trasformate a freddo di acciai trattati termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 2H, 2B, 2G, 2P

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm		R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	
	10 ^{b)}	600-950	400	15				
10	16	600-950	400	15				+AT
16	40	500-910	185	20				materiale
40	63	500-910	185	20				solubilizzato
63	160	500-710	185	35				

^{b)} nella gamma 1 mm ≤ d < 5 mm i valori sono validi solo per i tondi - le proprietà meccaniche delle barre non tonde con spessore < 5 mm devono essere concordate al momento della richiesta e dell'ordine. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Fucinato

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm		R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	HB ^{a)}	
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	max	
							215	+AT solubilizzato

^{a)} solo per informazione

Tabella di incrudimento (laminato a caldo +AT+C). Valori indicativi

R	N/mm ²	600	680	800	960	1100	1180	1220
A	%	50	30	20	10	8	8	8
Riduzione %		0	10	20	30	40	50	60



X6CrNiCuS18-9-2 n° 1.4570 austenitico								Lucefin Group
Espansione termica	$10^{-6} \cdot K^{-1}$	►			18.0	18.5	19.2	
Modulo elastico	longitudinale	GPa	200	194	186	179	172	127
Numero di Poisson	ν		0,28 ~					
Resistività elettrica	$\Omega \cdot mm^2/m$		0.73					
Conduttività elettrica	Siemens·m/mm ²		1.37					
Calore specifico	J/(Kg·K)		500					
Densità	Kg/dm ³		7.90					
Conducibilità termica	W/(m·K)		14.6					
Permeabilità magnetica relativa	μ_r		1.005 ~					
°C			20	100	200	300	400	600 800
Il simbolo ► indica fra 20 °C e 200 °C, 20 °C e 400 °C								
Resistenza alla corrosione	Atmosfera			Azione chimica			x prodotti chimici e organici	
Acqua dolce	<i>industriale</i> <i>marina</i>		<i>media</i> <i>ossidante</i> <i>riducente</i>					
x	x			x				
Magnetico	no							
Truciolabilità	alta							
Indurimento	trafilatura e altre deformazioni plastiche a freddo							
Temperatura di servizio in aria	fino a 820 °C in servizio continuo e 750 °C in servizio intermittente							
Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea	
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS	
X6CrNiCuS18-9-2	S30331							



Qualità materiale	X6CrNiMoTi17-12-2	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4571	Austenitico	Lucefin Group

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S% ^{a)}	Cr%	Ni%	Mo%	Ti%	
max	max	max	max	max				max	
0,08	1,00	2,00	0,045	0,015	16,5-18,5	10,5-13,5	2,0-2,5	0,70	EN 10088-1: 2005
± 0.01	+ 0.05	+ 0.04	+ 0.005	+ 0.005	± 0.2	± 0.15	± 0.1	± 0.05	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

^{a)} Per migliorare la truciolabilità è permesso zolfo 0,015% - 0,030%; per la lucidabilità è raccomandato un tenore di zolfo 0,015% max.

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Solubilizzazione +AT	Stabilizzazione	Ricottura di lavorabilità +A	Saldatura MMA con elettrodi AWS
1470-1450	1180-950	1120-1020 acqua	900-845 aria calma	non adatta	<i>preiscaldamento</i> non necessario <i>post saldatura</i> raffreddamento lento
Sensibilizzazione	Tempra +Q	Rinvenimento +T	Distensione +SR		giunzione con acciai
non adatta	non adatta	non adatto	420-240 aria		carbonio legati CrMo inossidabili E309-E308 E309-E308 E316L <i>riparazione o riporto della base</i> E 318

Trattamento chimico - Decapaggio (6 - 25% HNO₃) + (0.5 - 8% HF) a caldo o a freddo. Passivazione 20 - 25% HNO₃ a caldo

Proprietà meccaniche

Materiale trattato termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 1C, 1E, 1D, 1X, 1G, 2D

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm	R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	HB ^{a)}	
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	max
	160	500-700	200	40		100		215 +AT
	160	500-700	200		30		60	215 solubilizzato

^{a)} solo per informazione. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Barre trasformate a freddo di acciai trattati termicamente EN 10088-3: 2005 in condizione 2H, 2B, 2G, 2P

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm	R	Rp 0.2	A%	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C		
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (L)	min (T)	J min (L)	J min (T)	
	10 ^{b)}	600-950	400	25				
	10	580-950	380	25				+AT
	16	500-850	200	30		100		materiale
	40	500-850	200	30		100		solubilizzato
	63	500-700	200	40		100		

^{b)} nella gamma 1 mm ≤ d < 5 mm i valori sono validi solo per i tondi - le proprietà meccaniche delle barre non tonde con spessore < 5 mm devono essere concordate al momento della richiesta e dell'ordine. (L) = longitudinale (T) = trasversale

Fucinato +AT materiale solubilizzato

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	Kv -196 °C		
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min (T)	J min (L)	J min (T)	J min (T)	
	450	500-700	200	30	100	60		
	450	510-710	210	35	100	60	60	

(L) = longitudinale (T) = trasversale

Incrudito a freddo EN 10088-3: 2005 in condizione 2H (es. +AT+C)

sezione		Prova di trazione a +20 °C						
mm	R	Rp 0.2	A%					
oltre	fino a	N/mm ²	N/mm ² min	min				
	35	700-850	350	20			+AT+C700 materiale trafilato	
	25	800-1000	500	12			+AT+C800 materiale trafilato	

Valori minimi di snervamento a temperature elevate su materiale +AT solubilizzato EN 10088-3: 2005

Rp 0.2	N/mm ²	185	175	165	155	145	140	135	131	129	127
Prova a	°C	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550



Tabella di incrudimento (laminato a caldo +AT+C). Valori indicativi

R	N/mm ²	600	730	880	1040	1140	1280	1360	1600
Rp 0.20	N/mm ²	230	590	780	920	1100	1220	1230	1420
Riduzione %		0	10	20	30	40	50	60	70

Valori tipici a temperature elevate. Solo per informazione

R	N/mm ²	518	455	443	433	423	375	261	155	78
Rp 0.2	N/mm ²	208	179	159	146	145	146	146	112	55
Prova a	°C	93	204	316	427	538	649	760	871	982

Espansione termica	10 ⁻⁶ · K ⁻¹		▶	16.5	17.5	18.0	18.5	19.0	
Modulo elastico	longitudinale	GPa		200	194	186	179	172	165
Numero di Poisson	ν			0,30					
Resistività elettrica	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$			0.75	0.79	0.87	0.94	0.98	0.102
Conduttività elettrica	Siemens·m/mm ²			1.33					
Calore specifico	J/(Kg·K)			500	500	520	530	540	540
Densità	Kg/dm ³			8.0					
Conducibilità termica	W/(m·K)			15	16	17.5	19	20.5	22
Permeabilità magnetica relativa	μ_r			1.02					
°C				20	100	200	300	400	500

Il simbolo ▶ indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C

Resistenza alla corrosione	Atmosfera		Azione chimica			x vari sali, acidi organici, alimenti
Acqua dolce	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>	
x	x	x	x			

Magnetico	no
Truciolabilità	la presenza di carburi e nitruri di titanio consigliano l'impiego di inserti in metallo duro
Indurimento	trafilatura e altre deformazioni plastiche a freddo
Temperatura di servizio in aria	fino a 850 °C in servizio continuo e 800 °C in servizio intermittente

Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
X6CrNiMoTi17-12-2	S31635	Type 316Ti	06Cr17Ni12Mo2Ti	08Ch17N13M2T	SUS 316Ti	X04Cr17Ni12Mo2Ti	STS 316Ti



Qualità materiale	X15CrNiSi25-21	Acciaio Inossidabile	Scheda Dati rev. 2014
Numero	1.4841	Austenitico	Lucefin Group

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Mo%	Ni%	N%	
max		max	max	max				max	
0,20	1,50-2,50	2,00	0,045	0,015	24,0-26,0		19,0-22,0	0,11	EN 10088-1: 2005
+ 0.01	+ 0.10	+ 0.10	+ 0.005	+ 0.003	± 0.25		± 0.15	± 0.01	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Solubilizzazione +AT	Ricottura di lavorabilità +A	Stabilizzazione	Saldatura MMA con elettrodi AWS
1430-1400	1190-1000	1150-1050 acqua	non adatta	non necessaria	<i>periscaldamento</i> <i>post saldatura</i> non necessario solubilizzazione
Sensibilizzazione	Tempra +Q	Rinvenimento +T	Distensione +SR	<i>giunzione con acciai</i> carbonio legati CrMo inossidabili	
evitare riscaldamenti lenti nell'intervallo 650 e 900	non adatta	non adatto	650 aria	E309-E308 E309-E308 E310	<i>riparazione o riporto della base</i> E312

Trattamento chimico - Decapaggio (6 - 25% HNO₃) + (0.5 - 8% HF) a caldo o a freddo. Passivazione 20 - 25% HNO₃ a caldo

Proprietà meccaniche

Prodotti lavorati plasticamente EN 10095: 2001

sezione barre	Prova di trazione a +20 °C		A% min per prodotti		HB 1)		
mm	R 1)	Rp 0.2	lunghe 1)	piani			
oltre	fino a	N/mm ² min	N/mm ² min	(l)	da 0,5 a < 3 (l) (tr)	≥ 3 (l) (tr)	max
	160	550-750	230	30	28	30	223 +AT solubilizzato

1) Per profilati e barre di spessore ≤ 35 mm sottoposti a finitura a freddo il valore massimo di HB può essere aumentato di 100 punti, la resistenza a rottura può essere aumentata di 200 N/mm² e l'allungamento può essere ridotto del 20%.

(l) = longitudinale (tr) = trasversale

Finito a caldo (Laminato) ASTM A 276-04

sezione	Prova di trazione a +20 °C						
mm	R	Rp 0.2	A%	C%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	
oltre	fino a	N/mm ² min	N/mm ² min	min (L)	min (L)	J min (L)	J min (T)
tutte		515	205	40	50		+AT materiale solubilizzato

Fucinato +AT materiale solubilizzato ASTM A 473-99

sezione	Prova di trazione a +20 °C							
mm	R	Rp 0.2	A%	C%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	Kv -196 °C	
oltre	fino a	N/mm ² min	N/mm ² min	min (L)	min (L)	J min (L)	J min (T)	J min (T)
		515	205	40	50			

Incrudito a freddo ASTM A 276-04 (+AT+C)

sezione	Prova di trazione a +20 °C				
mm	R	Rp 0.2	A%	C%	
oltre	fino a	N/mm ² min	N/mm ² min	min	min
	12.7	620	310	30	40
12.7		515	205	30	40

Resistenza allo scorrimento viscoso EN 10095 : 2001. Valori medi del carico unitario di allungamento dell'1% (Rp_{1.0}) per scorrimento e di rottura per scorrimento (Rm) corrispondenti ad un tempo di applicazione del carico di 1 000 h, di 10 000 h e di 100 000 h.

Temperatura di prova °C	Carico unitario di allungamento Rp _{1.0} N/mm ²			Resistenza a rottura R N/mm ²		
	1000 ore	10.000 ore	100.000 ore	1000 ore	10.000 ore	100.000 ore
600	105	95		170	130	80
700	50	35		90	40	18
800	23	10		45	20	7
900	10	4		20	10	3
1000	3			5		



Transizione determinata con resilienze Kv. Materiale solubilizzato a 1050 °C

Valore medio J	60	70	85	100	120	150	170
Prove a °C	-160	-120	-80	-40	0	40	80

Valori indicativi a temperature elevate su materiale +AT solubilizzato a 1050 °C

R	N/mm ²	630	610	580	560	520	460	400	300
Rp 0.2	N/mm ²	290	240	200	190	180	170	150	140
A	%	46	42	40	40	38	34	25	22
C	%	72	70	68	62	58	40	28	38
Prova a °C		100	200	300	400	500	600	700	800

Espansione termica	10 ⁻⁶ · K ⁻¹	▶			15.5	17.0	17.5	18.0	19.0	
Modulo elastico	longitudinale GPa	200			184	167	150	135		
Modulo elastico	tangenziale GPa	86								
Numero di Poisson	ν	0.30 ~								
Resistività elettrica	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	0.90								
Conduttività elettrica	Siemens·m/mm ²	1.11								
Calore specifico	J/(Kg·K)	500								
Densità	Kg/dm ³	7.90								
Conducibilità termica	W/(m·K)	15								
Permeabilità magnetica relativa	$\mu_r \text{ max}$	1.02								
°C		20	100	200	300	400	500	600	800	1000

Il simbolo ▶ indica fra 20 °C e 200 °C, 20 °C e 400 °C

Resistenza alla corrosione	Atmosfera		Azione chimica			x tubi radianti, boiler, componenti per forni da trattamento termico
Acqua dolce	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>	
x	x	x	x	x		
Magnetico	no					
Truciolabilità	media					
Indurimento	trafilatura e altre deformazioni plastiche a freddo					
Temperatura di impiego	max 1125 °C					

Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
X15CrNiSi25-21	S31400	314	1Cr25Ni20Si2	20Ch25N20S2	SUH 310 ~	X20Cr25Ni20	STS 310 TB ~



Qualità materiale	X8CrNi25-21	Acciaio Inossidabile	Scheda Dati rev. 2014
Numero	1.4845	Austenitico	Lucefin Group

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Mo%	Ni%	N%	
max	max	max	max	max				max	
0,10	1,50	2,00	0,045	0,015	24,0-26,0		19,0-22,0	0,11	EN 10088-1: 2005
+ 0.01	+ 0.10	+ 0.10	+ 0.005	+ 0.003	± 0.25		± 0.15	± 0.01	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto.

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Solubilizzazione +AT	Ricottura di lavorabilità +A	Stabilizzazione	Saldatura MMA con elettrodi AWS
1450-1400	1175-990 acqua	1150-1040 acqua	non adatta	non necessaria	periscaldamento post saldatura non necessario solubilizzazione
Sensibilizzazione	Tempra +Q	Rinvenimento +T	Distensione +SR		giunzione con acciai
evitare riscaldi lenti nell'intervallo 600 e 900	non adatta	non adatto	dopo deformazione a freddo 1080-1050 acqua 400-200 aria		carbonio legati CrMo inossidabili ENiCrFe-3 ENiCrFe-3 E310Nb riparazione o riporto della base E310

Trattamento chimico - Decapaggio (10% HNO₃) + (0.5 - 1.5% HF) caldo o freddo. Passivazione 20 - 45% HNO₃ a freddo

Proprietà meccaniche

Prodotti lavorati plasticamente EN 10095: 2001

sezione piatta		Prova di trazione a +20 °C					
mm	R	Rp 0.2	A%	C%	Kv +20 °C	HB	
oltre	fino a	N/mm ² min	N/mm ² min	min	min	J min	max
	75	500-700	210	35			+AT solubilizzato
	35	500-900	210	20			+AT+C

Finito a caldo (Laminato) ASTM A 276-04

sezione		Prova di trazione a +20 °C					
mm	R	Rp 0.2	A%	C%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	
oltre	fino a	N/mm ² min	N/mm ² min	min (L)	min (L)	J min (L)	J min (T)
tutte		515	205	40	50		+AT materiale solubilizzato

Fucinato +AT materiale solubilizzato ASTM A 473-99

sezione		Prova di trazione a +20 °C					
mm	R	Rp 0.2	A%	C%	Kv +20 °C	Kv +20 °C	Kv -196 °C
oltre	fino a	N/mm ² min	N/mm ² min	min (L)	min (L)	J min (L)	J min (T)
		515	205	40	50		

Incrudito a freddo ASTM A 276-04 (+AT+C)

sezione		Prova di trazione a +20 °C			
mm	R	Rp 0.2	A%	C%	
oltre	fino a	N/mm ² min	N/mm ² min	min	min
	12.7	620	310	30	40
	12.7	515	205	30	40

Resistenza allo scorrimento viscoso EN 10095 : 2001. Valori medi del carico unitario di allungamento dell'1% (Rp_{1.0}) per scorrimento e di rottura per scorrimento (Rm) corrispondenti ad un tempo di applicazione del carico di 1 000 h, di 10 000 h e di 100 000 h.

Temperatura di prova °C	Carico unitario di allungamento Rp _{1.0} N/mm ²			Resistenza a rottura R N/mm ²		
	1000 ore	10.000 ore	100.000 ore	1000 ore	10.000 ore	100.000 ore
600	100	90		170	130	80
700	45	30		80	40	18
800	18	10		35	18	7
900	10	4		15	8.5	3

Transizione determinata con resilienze Kv. Materiale solubilizzato a 1050 °C

Valore medio J	50	62	84	106	130	150	170
Prove a °C	-160	-120	-80	-40	0	40	80



Tabella di incrudimento (laminato a caldo +AT+C). Valori indicativi

R	N/mm ²	600	760	880	990	1080	1150	1220	1260
Rp 0.2	N/mm ²	310	460	690	880	990	1040	1080	1100
A	%	42	30	18	8	6	6	5	5
Riduzione	%	0	10	20	30	40	50	60	70

Permeabilità magnetica relativa μ_r in funzione dell'incrudimento e dell'intensità di campo magnetico. Valori indicativi

Riduzione %		0	14,7	26,8	64,2				
Intensità di campo magnetico	4000 A/m	1.0018	1.0016	1.0018	1.0019				
Intensità di campo magnetico	16000 A/m	1.0035	1.0041	1.0043	1.0041				

Proprietà meccaniche a varie temperature su materiale +AT solubilizzato a 1050 °C. Valori indicativi

R	N/mm ²	1223	1085	658	620	600	580	550	520	440	380	240
Rp 0.2	N/mm ²	796	585	310	280	230	200	190	180	170	160	150
A	%	52	54	60	44	42	40	40	40	38	28	20
C	%	50	54	65	70	68	66	62	58	40	28	38
Prova a	°C	-254	-195	24	100	200	300	400	500	600	700	800

Espansione termica	10 ⁻⁶ · K ⁻¹		►			15.5		17.0		17.5	18.5	19.0
Modulo elastico	longitudinale GPa	200	190	185	180	170	158	150	130	120		
Modulo elastico	tangenziale GPa	86										
Numero di Poisson	ν	0.29	~									
Resistività elettrica	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	0.85										
Cond. elettrica	Siemens·m/mm ²	1.18										
Calore specifico	J/(Kg·K)	500										
Densità	Kg/dm ³	7.90										
Conducibilità termica	W/(m·K)	15						19				
Perm. magnetica relativa	$\mu_{r \text{ max}}$	1.008										
°C		20	100	200	300	400	500	600	800	1000		

Il simbolo ► indica fra 20 °C e 200 °C, 20 °C e 400 °C

Resistenza alla corrosione	Atmosfera		Azione chimica			x blocchi pompaggio petrolio, bagni di sale, gas caldi > 550 °C
Acqua dolce	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>	
x	x	x	x	x		

Magnetico	no
Truciabilità	alta
Indurimento	trafilatura e altre deformazioni plastiche a freddo
Temperatura di servizio	fino a 1050 °C in servizio continuo e 1000 °C in servizio intermittente

Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
X8CrNi25-21	S31008	310S	0Cr25Ni20	10Ch23N18	SUH 310	10Cr25Ni18 ~	STS 310S



Qualità materiale	430FMO	Acciaio Inossidabile Ferritico	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	(1.4105)		<i>Lucefin Group</i>

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Mo%	Ni%
max			max				max
0,08	0,30-0,80	0,40-1,25	0,040	0,20-0,30	16,0-18,0	0,80-1,10	1,00
+ 0.01	+ 0.05	+ 0.03	+ 0.005	+ 0.02	+ 0.2	+ 0.05	+ 0.03

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Preriscaldamento per la deformazione	Deformazione a caldo	Ricottura di lavorabilità +A	Saldatura MMA elettrodi AWS
1500-1480	870-820 sosta	1140-900	800-780 aria (HB max 190)	<i>preriscaldamento ricottura dopo s.</i> difficoltosa rivolgersi a produttori qualificati di elettrodi
Non trattato	Ricristallizzazione +RA	Tempra +Q	Ricottura per proprietà magnetiche a)	giunzione con acciai
	820-760 raffred. lento	930	845-800 raffreddamento 50 °C/h	carbonio legati CrMo inossidabili
(HB min 195)	(HB max 195)	aria calma / aria forzata	fino a 430 poi aria	E430 E430 E309 <i>riparazione o riporto della base</i> E309

Temperatura di Curie 671 °C

Trattamento chimico - Decapaggio (6 - 25% HNO₃) + (0.5 - 8% HF) a caldo o a freddo. Passivazione 20 - 25% HNO₃ a caldo

Proprietà meccaniche

Laminato a caldo

sezione mm	Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					
	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	HB a)	a) solo per informazione
oltre fino a	N/mm ² min	N/mm ² min	min	J min	max	
100	430	245	16		200	+RA ricristallizzazione

Trafilato

sezione mm	Prova di trazione in longitudinale a +20 °C					
	R	Rp 0.2	A%	Kv +20 °C	HB	
oltre fino a	N/mm ² min	N/mm ² min	min	J min	max	
10	520	320	7			
16	480	300	7			+RA+C
16	420	240	12			ricristallizzazione e trafilatura
40	420	240	12			

Espansione termica	10 ⁻⁶ · K ⁻¹	▶	10.6	11.4	12.0
Modulo elastico	longitudinale	GPa	206		
Numero di Poisson	v		0.29 ~		
Resistività elettrica	Ω · mm ² /m		0.70		
Conduttività elettrica	Siemens·m/mm ²		1.42		
Calore specifico	J/(Kg·K)		460		
Densità	Kg/dm ³		7.61		
Conducibilità termica	W/(m·K)		25		
Permeabilità magnetica relativa	μr		600-800 ~		
°C			20	200	400 600

Il simbolo ▶ indica fra 20 °C e 200 °C, 20 °C e 400 °C

Resistenza alla corrosione	Atmosfera		Azione chimica			x prodotti alimentari, acido nitrico, prodotti lattieri e caseari
	industriale	marina	media	ossidante	riducente	
Acqua dolce						
x	x		x			

Magnetico	sì
Truciolabilità	alta
Indurimento	trafilatura e altre deformazioni plastiche a freddo
Temperatura di servizio in aria	fino a 780 °C in servizio continuo e 830 °C in servizio intermittente

Europa EN	USA UNS	USA ASTM	Cina GB	Russia GOST	Giappone JIS	India IS	Corea KS
(X6CrMoS17)							



Qualità materiale	X2CrMoTi18-2	Acciaio Inossidabile	<i>Scheda Dati rev. 2014</i>
Numero	1.4521	Ferritico	<i>Lucefin Group</i>

Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Ti% ^{a)}	N%	Mo%	
max	max	max	max	max		max	max		
0,025	1,00	1,00	0,040	0,015	17,0-20,0	0,80	0,030	1,80-2,50	EN 10088-1: 2005
+ 0.005	+ 0.05	+ 0.03	+ 0.005	+ 0.003	± 0.2	± 0.05	± 0.01	± 0.1	

Scostamenti ammessi per analisi di prodotto. ^{a)} Ti: (4 x(C + N) + 0.15)

Temperature in °C

Temperatura di fusione	Deformazione a caldo	Solubilizzazione +AT	Stabilizzazione	Punto di Curie	Saldatura MMA con elettrodi AWS
1510-1480	1100-950	non adatto	non necessaria	650	<i>preiscaldo post saldatura</i> non necessario non necessario
Sensibilizzazione	Tempra +Q	Rinvenimento +T	Ricottura di lavorabilità +A (atmosfera controllata)	<i>giunzione con acciai carbonio legati CrMo inossidabili</i>	
evitare soste prolungate fra 900 - 600	non adatta	non adatto	880-820 aria, acqua	E309-E308 E309-E308 E308L	<i>riparazione o riporto della base</i> 1.4430

Trattamento chimico • Decapaggio (20 - 40% HNO₃) + (2 - 6% Na₂Cr₂O₇ . 4% 2H₂O) a caldo • Passivazione 20 - 25% HNO₃ a caldo

Proprietà meccaniche

EN 10088-2: 2005 materiale in condizioni ricotto +A

sezione		Prova di trazione a +20 °C							forma del prodotto
mm	fino a	R	Rp 0.2	Rp	A% t < 3	A% t < 3	HB		
oltre		N/mm ²	N/mm ² min (L)	N/mm ² min (T)	min (L)	min (T)	<i>per inform.</i>		
	8	420-640	300	320	20	20	125-198	C	
	13,5	400-600	280	300	20	20	119-178	H	
	12	420-620	280	300	20	20	125-190	P	

(L) = longitudinale (T) = trasversale C = nastri laminati a freddo, H = nastri laminati a caldo, P = piatti laminati a caldo

ASTM A240/A240M-11b piatti, fogli e nastri in condizioni di ricottura +A

sezione mm		R	Rp 0.2	A%	HB
oltre	fino a	N/mm ² min	N/mm ² min	min	max
	5	415	275	20	217

Tabella di incrudimento (laminato a caldo +A+C). Valori indicativi

R	N/mm ²	480	660	740	780	800	810	850	900
Riduzione %		0	10	20	30	40	50	60	70

Valori minimi di snervamento a temperature elevate su materiale ricotto +A EN 10088-2: 2005 / EN 10028-7: 2008

Rp 0.2	N/mm ²	294	250	240	230	220	210	205	200
Prova a °C		50	100	150	200	250	300	350	400

Espansione termica	10 ⁻⁶ . K ⁻¹				▶	10.4	10.8	11.2	11.6	11.9	12.0
Modulo elastico	longitudinale	GPa				220	215	210	205	195	158
Modulo elastico	tangenziale	GPa				65					
Numero di Poisson	v					0.28 ~					
Resistività elettrica	Ω . mm ² /m					0.80					
Conduttività elettrica	Siemens . m/mm ²					1.25					
Calore specifico	J/(Kg . K)					430					
Densità	Kg/dm ³					7.70					
Conducibilità termica	W/(m . K)					23.0	26.8	29.0		34.0	35.0
Permeabilità magnetica relativa	μr a 0.8 kA/m DC / AC					800					
°C						20	100	200	300	400	500 600

Il simbolo ▶ indica fra 20 °C e 100 °C, 20 °C e 200 °C

Resistenza alla corrosione	Atmosfera		Azione chimica			x pitting, crevice, tensocorrosione, intergranulare, alimenti
Acqua dolce	<i>industriale</i>	<i>marina</i>	<i>media</i>	<i>ossidante</i>	<i>riducente</i>	
x	x	x	x	x		

Magnetico

si

Truciolabilità

buona

Indurimento

modesto incrudimento mediante trafilatura e altre deformazioni plastiche a freddo

Temperatura di servizio in aria

fino 850 °C in servizio continuo e 950 °C in servizio intermittente

Europa	USA	USA	Cina	Russia	Giappone	India	Corea
EN	UNS	ASTM	GB	GOST	JIS	IS	KS
X2CrMoTi18-2	S44400	444	019Cr19Mo2NbTi		SUS 444		STS 444







Copyright © 2014
Lucefin S.p.A.
I-25040 Esine (Brescia) Italy
www.lucefin.com

Progetto grafico: Lucefin S.p.A. Divisione parlatotriple
Stampa: Graphicscalve - Vilminore di Scalve (BG)

È vietata la riproduzione, la traduzione e l'adattamento anche parziale se non espressamente autorizzato dagli autori e dall'editore.

Le informazioni contenute in questo libro sono state verificate e documentate con la massima cura possibile, ma nessuna responsabilità derivante dal loro utilizzo potrà venire imputata, agli autori, all'editore o a ogni persona e società coinvolte nella creazione, produzione e distribuzione di questo libro.





Marco V. Boniardi (Milano, 1964)

Professore ordinario di Metallurgia presso il Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano. Da più di venti anni svolge attività di ricerca e di trasferimento tecnologico nel settore *Materials Science & Engineering*; i principali ambiti di interesse riguardano gli acciai inossidabili, gli acciai comuni e speciali, i trattamenti termici, la fatica, la meccanica della frattura, la corrosione, i processi di fabbricazione e di trasformazione degli acciai.

Autore di più di 100 pubblicazioni scientifiche, collabora con imprese nazionali e Corporate internazionali nel campo dell'ingegneria forense e dell'analisi di cedimenti e disservizi in esercizio; si è anche occupato di sinistri di notevole rilevanza mediatica quali la strage ferroviaria di Viareggio del 29 giugno 2009 ed il naufragio della Costa Concordia del 13 gennaio 2012. E' direttore del corso *Executive in Failure Analysis & Forensic Engineering*, svolto nell'ambito della Formazione Permanente del Politecnico di Milano.

Insieme con Andrea Casaroli è fondatore del sito www.fa-fe.com



Andrea Casaroli (Castel S. Giovanni - PC, 1984)

Svolge attività di ricerca nel settore Metallurgia presso il Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano nell'ambito degli acciai inossidabili, dei rivestimenti funzionali e del comportamento meccanico dei materiali. Si occupa anche di *Failure Analysis* e di sinistri industriali, dove ha maturato una particolare competenza nei casi di incendio e di resistenza al fuoco. Autore di 15 pubblicazioni scientifiche, collabora con imprese nazionali ed internazionali alla risoluzione di problemi di cedimento meccanico, corrosione, fatica e malfunzionamento di componenti ed impianti industriali.

Insieme con Marco Boniardi è fondatore del sito www.fa-fe.com

GRUPPO LUCEFIN

ACCIAI SPECIALI E AL CARBONIO

TRAFILIX Esine (Brescia)

TRE VALLI ACCIAI Berzo Inferiore (Brescia)

TRAFIL CZECH Kladno - Repubblica Ceca

ACCIAI INOSSIDABILI

TRAFITEC S. Colombano al Lambro (Milano)

TRAFITEC UK Tipton (West Midlands) - Regno Unito

KSM - STAHL Empfingen - Germania

ACCIAI PER STAMPI E UTENSILI

ACCIAI BRIANZA - EURAS Desio (Monza Brianza)

DIVISIONE COMMERCIALE

Acciai speciali e al carbonio, Acciai inossidabili, Acciai per stampi e utensili

ACCIAI BRIANZA Desio (Monza Brianza)

CO.MET. ACCIAI Brescia

COSMO ACCIAI Spilamberto (Modena)

NUOVA BASSANI Forlì

SIDERCONERO Ancona

SIDERMARCA Ponzano Veneto (Treviso)

TRA.ME.T. Orbassano (Torino)

TRAFIL CZECH - Poland Poznan - Polonia



Lucefin S.p.A.
I-25040 Esine (Brescia) Italy
www.lucefin.com