

FAUSTO CAPELLI

PROGETTARE CON L'ACCIAIO INOSSIDABILE

Ne esistono di molti tipi con caratteristiche e impieghi diversi.

Gli acciai inossidabili riescono a unire le proprietà meccaniche, proprie degli acciai, alle caratteristiche intrinseche dei materiali nobili quali, tipicamente, le notevoli doti di resistenza ai fenomeni corrosivi

patto di essere sempre in condizioni sufficientemente ossidanti. Questo concetto è molto importante ai fini di una buona tenuta nel tempo e per contrastare in maniera adeguata i diversi casi di

corrosione. È necessario infatti consentire al materiale, sia in fase di lavorazione che di messa in opera, di poter scambiare con l'ambiente che lo circonda una sufficiente quantità di ossigeno, in mo-

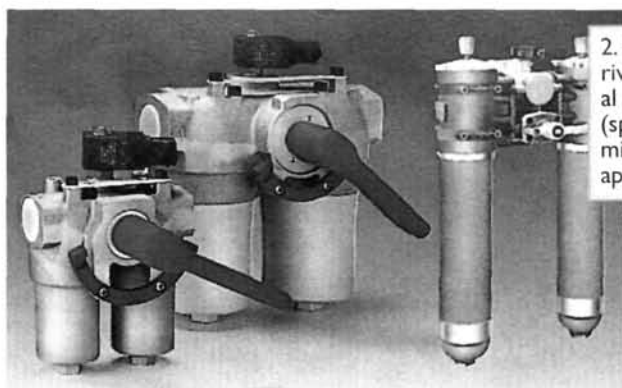
Il termine inossidabile non corrisponde alla vera natura di questi metalli: essi, infatti, sono "ossidabilissimi", vale a dire hanno la possibilità, grazie al contenuto degli elementi in lega, essenzialmente alla percentuale di cromo, di "autopassivarsi" cioè di ricoprirsi di uno strato di ossidi invisibile, di dimensioni molecolari, che protegge il metallo sottostante dagli attacchi corrosivi.

Questo fenomeno si verifica ogni volta che l'ambiente è sufficientemente ossidante, come ad esempio l'aria che si respira, l'acqua, soluzioni varie, ecc. La natura di questo strato è tale da garantire la copertura del metallo, anche se localmente si verificano abrasioni od asportazioni della pellicola, a

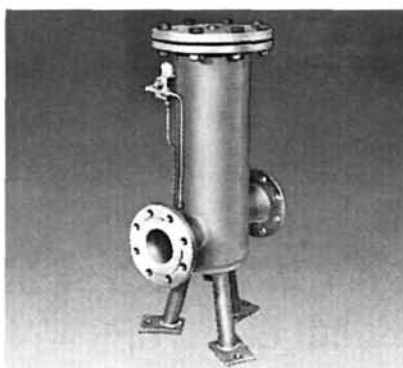


nicelatura chimica come soluzione al problema, sia nel caso di nichel a medio fosforo che di nichel ad alto contenuto di fosforo.

Per calcolare il grado di protezione che si intende raggiungere col deposito di nichel per un certo componente in esercizio e per una determinata durata a progetto, occorre stabilire prima di tutto il valore dello spessore residuo del riporto, cioè lo spessore minimo indispensabile prima che cominci l'aggressione al substrato da parte degli agenti corrosivi. Per esempio, nel caso del nichel a medio tenore di fosforo e per valori dello spessore residuo uguale a 25 - 30 micron, con un tasso di decadimento annuo uguale a 9,5 micron, otteniamo un valore di 120 - 130 micron; invece, sempre a parità di grado di protezione offerto, nel caso dell'alto fosforo, occorrerà uno spessore totale di nichel di soli 35 - 45 micron. Questo significa che lo stesso grado di protezione sul pezzo può essere ottenuto effettuando un riporto di nichel chimico ad alto tenore, avente uno spessore di deposito di circa un terzo dello spessore richiesto per il medio fosforo, con recuperi di costo piuttosto sensibili. Comunque bisogna sottolineare, che in presenza di fluidi di processo fortemente corrosivi contenenti alte percentuali di CO_2 o H_2S , che del resto rappresentano



2. Serie di filtri duplex rivestiti esternamente al nichel chimico (spessore deposito 40 micron) per applicazioni off-shore.



3. Filtro bassa pressione per impianto petrolchimico rivestito interno-esterno al nichel chimico.



4. Accumulatori alta pressione per impianti off-shore rivestiti interno-esterno al nichel chimico.

le condizioni ricorrenti del settore petrolifero, l'impiego del nichel chimico a medio fosforo potrebbe richiedere spessori anche molto elevati, superiori per esempio ai 100 micron, valori che non sono assolutamente accettabili sia in termini teorici che economici. Per quanto riguarda i rivestimenti ad alto contenuto di fosforo, invece, a parità di condizioni e di du-

rata di esercizio, si hanno normalmente spessori compresi tra i 30 e gli 80 micron, che sono valori coerenti sia dal punto di vista tecnico che dei costi. Naturalmente, tutto quanto è stato detto vale nell'ipotesi che la corrosione chimica sia essenzialmente causata all'aggressione dei fluidi di contatto con i depositi di nichel chimico. Nella pratica, invece, vanno tenuti in conto fattori diversi, di carattere sia fisico che operativo, che possono dare origine a fenomeni di corrosione localizzati e accelerati, come per esempio situazioni di corrosione elettrochimica, soprattutto nelle zone di contatto fra componenti metallici diversi di una stessa apparecchiatura. In certi casi, poi, il ristagno e la condensa degli agenti aggressivi delle soluzioni dei bagni utilizzati durante il processo, oppure certi fenomeni di aerazione differenziale che si vengono a creare durante la fase di asciugatura nei forni del particolare nichelato possono determinare un accumulo di cariche e elettriche in alcuni punti. Per queste ragioni in molte situazioni viene giustificato l'impiego di acciai inossidabili altamente legati, allo scopo di risolvere problemi di corrosione.

Tabella 2. Tassi di corrosione (in micron/anno) di depositi a medio tenore di fosforo (M) e ad alto tenore di fosforo (A) in ambienti corrosivi per percentuali variabili di H_2S e CO_2 e a due diverse temperature di lavoro.

Condizioni di prova	Temperatura	Deposito A	Deposito M	M/A
20% H_2S 20% CO_2 2% soluzioni saline	80 °C	1,25	9,5	>7
1% H_2S 20% CO_2 2% soluzioni saline	160 °C	14	249	>17
20% H_2S 20% CO_2 2% soluzioni saline	160 °C	75	775	>10

ANALISI INDICATIVA %

Tipo di struttura	C	Mn max	P max	S max	Si max	Cr	Ni	Mo	Altri elementi	AISI (USA)
Austenitica	0,15 max	2	0,045	0,030	1	16÷18	6÷8	-	-	301
Austenitica	0,15 max	2	0,20	0,15 min	1	17÷19	8÷10	0,60 max	-	303
Austenitica	0,15 max	2	0,20	0,060	1	17÷19	8÷10	-	Se =0,15 min	303Se
Austenitica	0,08 max	2	0,045	0,030	1	18÷20	8÷10,5	-	-	304
Austenitica	0,03 max	2	0,045	0,030	1	18÷20	8÷12	-	-	304 L
Austenitica	0,20 max	2	0,045	0,030	1	22÷24	12÷15	-	-	309
Austenitica	0,08 max	2	0,045	0,030	1	22÷24	12÷15	-	-	309 S
Austenitica	0,25 max	2	0,045	0,030	1,50	24÷26	19÷22	-	-	310
Austenitica	0,08 max	2	0,045	0,030	1,50	24÷26	19÷22	-	-	310 S
Austenitica	0,06 max	2	0,045	0,030	1	16÷18,5	10,5÷13,5	2÷2,5	-	316
Austenitica	0,08 max	2	0,20	0,10 min	1	16÷18	10÷14	1,75÷2,5	-	316 F
Austenitica	0,03 max	2	0,045	0,030	1	16÷18,5	11÷14	2÷2,5	-	316 L
Austenitica	0,08 max	2	0,045	0,030	1	17÷19	9÷12	-	Ti=5 X C min	321
Austenitica	0,08 max	2	0,045	0,030	1	17÷19	9÷13	-	Nb+a=10 X C min	347
Ferritica	0,08 max	1	0,045	0,045	1	10÷11,5	-	-	Ti=6 X C min; 0,75 max	409
Martensitica	0,15 max	1	0,040	0,030	1	11,5÷13,5	-	-	-	410
Martensitica	0,16÷0,25	1	0,040	0,030	1	12÷14	1 max	-	-	420
Ferritica	0,12 max	1	0,040	0,030	1	16 ÷ 18	-	-	-	430
Ferritica	0,12 max	1,25	0,060	0,15 min	1	16 ÷ 18	-	0,60 max	-	430 F

Tabella I. Composizione chimica indicativa e designazione AISI di alcuni tipi di acciai inossidabili più impiegati.

do da poter essere considerato nelle ottimali condizioni di passivazione.

Naturalmente questo film passivo può essere più o meno resistente e più o meno ancorato al materiale a seconda della concentrazione in cromo presente nella lega e a seconda dell'eventuale presenza di altri elementi quali il nichel, il molibdeno, il titanio, ecc.

È chiaro, quindi, che esistono diversi gradi di inossidabilità e di resistenza alla corrosione: esiste pertanto, nell'ambito degli inossidabili, una scala di nobiltà a seconda del contenuto in lega degli elementi succitati. Oltre alle caratteristiche di resistenza alla corrosione, c'è una vasta gamma di resistenze meccaniche che dà la possibilità di scegliere tra diversi tipi di prestazioni, sia a temperatura ambiente che a temperature elevate.

Il generico utilizzatore si trova, di conseguenza, di fronte a una notevole serie prestazionale ed il problema che spesso volte si pone è proprio quello di riuscire a scegliere il giusto materiale in

funzione degli impieghi, in maniera tale da non "sottodimensionare" né "sovradimensionare" la scelta e riferirsi agli opportuni valori di nobiltà e di prestazioni meccaniche, adatti a un determinato servizio. È necessario, a questo punto, illustrare brevemente, per grosse aggregazioni, le diverse tipologie di questi acciai.

COME SI CLASSIFICANO

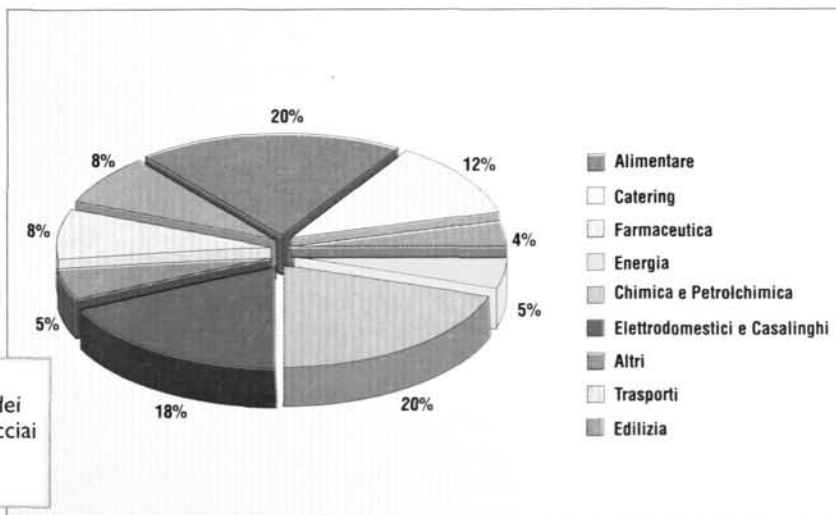
Gli inox si dividono in tre grandi famiglie:

- i martensitici;
- i ferritici;
- gli austenitici.

Gli inossidabili martensitici sono leghe al solo cromo (dall'11 al 18% circa), contenenti piccole quantità di altri elementi, come ad esempio il nichel. Sono gli unici inox che possono prendere tempra e pertanto aumentare le loro caratteristiche meccaniche (carico di rottura, carico di snervamento, durezza), mediante trattamento termico. Buona è la loro attitudine alle lavorazioni per deformazione plastica, specie a caldo e nelle versioni risolforate danno anche discrete garanzie di truciolabilità.

Anche i ferritici sono acciai inossidabili al solo cromo (il contenuto è variabile dal 16 al 28%), ma non

Ripartizione percentuale dei consumi di acciai inox in Italia (stima).



CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE

Tipo di acciaio (AISI)	Peso specifico (g/cm ³)	Coeff. di conducibilità termica (cal/cm °C s)	Coeff di dilatazione termica medio (X 10 ⁴ °C ⁻¹)	Carico di rottura (kg/mm ²) R	Carico di snervamento (kg/mm ²) R _{p(0,2)} min	Allungamento a rottura (%) A	Durezza HRB max
301	8,06	0,039	16,9	60÷75	22	45	92
303 303 Se	8,06	0,039	17,3	50÷75	22	40	-
304	8,06	0,039	17,3	55÷70	20	45	88
304 L	8,06	0,039	17,3	53÷68	18	45	88
309	8,06	0,037	15,0	55÷70	23	40	95
309 S	8,06	0,037	15,0	53÷68	21	40	95
310	8,06	0,034	15,9	55÷70	23	40	95
310 S	8,06	0,034	15,9	53÷68	21	40	95
316	8,06	0,039	16,0	55÷70	21	40	95
316 F	8,06	0,034	16,5	59÷70	27	60	85
316 L	8,06	0,039	16,0	53÷68	20	40	95
321	8,06	0,038	16,6	55÷70	21	40	88
347	8,06	0,038	16,6	55÷70	21	40	88
409	7,68	0,062	11,7	46	24	25	75
410	7,78	0,059	9,9	70÷90	50	14	97 (*)
416	7,78	0,059	9,9	70÷90	50	14	97 (*)
420	7,78	0,059	10,3	75÷95	55	13	97 (*)
430	7,78	0,062	10,4	45÷60	26	22	88
430 F	7,78	0,062	10,4	50 (70)	30	15	92

(*) Valori ricavati su provette allo stato di ricottura di lavorabilità

Tabella 2. Alcune caratteristiche fisiche e meccaniche degli acciai inossidabili presentati nella tabella 1.

possono innalzare le loro caratteristiche meccaniche per mezzo di trattamenti termici.

Si lavorano facilmente per deformazione plastica, sia a caldo che a freddo, e possono essere lavorati alle macchine utensili (specie i tipi risolforati).

Presentano una buona saldabilità, specie nel caso delle saldature a resistenza (puntatura e rullatura).

Gli austenitici sono invece leghe al cromo-nichel, con cromo in quantità comprese tra il 17 e il 26% e nichel tra il 7 e il 22%.

Anche questi acciai non prendono tempra ma possono incrementare le proprietà tensili con incrudimenti per deformazione a freddo (laminazione, imbutitura, ecc.).

Esistono poi diverse versioni a basso contenuto di carbonio, stabilizzate, per i più svariati tipi di impiego.

Ottima è la loro lavorabilità, soprattutto la deformabilità a freddo (specie l'imbutibilità) e le lavorazioni alle macchine utensili.

Essi possono essere anche validamente saldati sia a resistenza sia all'arco elettrico.

Oltre a queste tre categorie principali, esistono anche altre famiglie meno note, ma degne di menzione, per impieghi più specifici; sono da citare, ad esempio, gli acciai "austenite-ferritici", detti anche "duplex", che presentano una struttura mista di austenite e di ferrite.

Questi materiali sono impiegati quando vengono richieste caratteristiche di resistenza alla corrosione particolari (specie nei confronti della stress-corrosion); essi hanno saldabilità e caratteristiche meccaniche di solito superiori a quelle dei ferritici correnti.

Da citare sono anche gli acciai inossidabili "indurenti per precipitazione": questi presentano la possibilità di innalzare notevolmente le caratteristiche meccaniche con dei trattamenti termici particolari di invecchiamento, che consentono di far precipitare, nella matrice del metallo, degli elementi composti in grado di aumentare le proprietà meccaniche della lega. Inoltre, gli indurenti per precipitazione possiedono una notevole resistenza alla corrosione, certamente paragonabile a quella degli acciai austenitici classici.

Attualmente si è giunti ad una differenziazione notevole nella topo-

logia degli acciai inossidabili e se ne contano ben più di cento tipi.

Si è pensato comunque di radunare quelli più correnti con le loro composizioni chimiche indicative e la corrispondenza approssimata tra le unificazioni dei diversi Paesi (tabella 1).

CARATTERISTICHE FISICHE E MECCANICHE

Con gli acciai inossidabili c'è la possibilità di disporre di una vasta gamma di proprietà sia fisiche che meccaniche per le più disparate situazioni applicative.

Il peso specifico è variabile a seconda della diversa composizione chimica ed è compreso tra 7,7 g/cm³ per i tipi martensitici e ferritici e 8,06 g/cm³ per gli austenitici.

Per la conducibilità termica c'è da tener presente che gli acciai a struttura ferritica e martensitica conducono meglio il calore rispetto agli acciai austenitici: anche la resistività elettrica è fortemente differenziata tra gli austenitici, dove è più elevata che negli altri tipi.

Da considerare è anche il coefficiente di dilatazione termica: gli austenitici dilatano molto con la

temperatura, rispetto agli altri inossidabili. Infine, diversa è anche la permeabilità magnetica relativa, infatti le famiglie martensitica e ferritica sono sostanzialmente ferromagnetiche, mentre quella austenitica è amagnetica.

Per le prime, questa caratteristica fisica non è molto influenzata dall'incrudimento per deformazione a freddo, mentre gli austenitici risentono molto di più di questo fenomeno.

Le caratteristiche meccaniche sono differenti a seconda dei diversi tipi e possono essere sintetizzate come segue.

I tipi austenitici non sono suscettibili di innalzare le loro caratteristiche mediante tempra e conseguentemente hanno qualità resistenziali non elevate.

Sono capaci però di innalzare anche di molto la loro resistenza mediante incrudimento per deformazione plastica a freddo, elevando il carico di rottura. Questo fenomeno è molto sfruttato proprio nello stampaggio a freddo di questi materiali.

Posseggono elevate caratteristiche di resistenza a fatica. Quella agli urti è molto alta, sia a temperatura ambiente, sia a temperature assai basse.

Anche i tipi ferritici non sono suscettibili di trattamento di tempra e conseguentemente presentano caratteristiche resistenziali non elevate.

L'incrudimento per deformazione plastica a freddo incrementa anche in questo caso le caratteristiche di

resistenza, ma in misura minore rispetto agli austenitici.

I tipi martensitici offrono le migliori caratteristiche di resistenza meccanica fra gli acciai inossidabili, quando sono messi in opera allo stato bonificato (tempra e rinvenimento).

Nella tabella 2 sono state elencate alcune delle caratteristiche fisiche e meccaniche tra le più significative dei principali acciai inox più utilizzati.

I PRODOTTI SIDERURGICI ESISTENTI

La notevole diversificazione delle applicazioni industriali, raggiunta dagli acciai inossidabili, ha necessariamente portato le ditte trasformatrici all'esigenza di poter disporre sul mercato di diversi prodotti siderurgici nei vari formati. I prodotti di base, forniti da acciaieria, possono distinguersi in prodotti "piatti" e prodotti "lunghi".

Tra i primi si possono classificare:

- larghi piatti (laminati o ricavati da lamiere);
- lamiere laminare a caldo;
- lamiere laminare a freddo;
- nastro laminato a caldo;
- nastro laminato a freddo.

Tra i secondi:

- prodotti in barre (laminare o trafilate);
- filo;
- filo senza saldatura;
- tubi saldati;





a questi prodotti sono da aggiungere i "getti", vale a dire diversi prodotti ottenuti per fusione.

Sia per i prodotti piatti che per i prodotti lunghi, esistono ormai diverse dimensioni, tali da soddisfare ogni tipo di esigenza applicativa.

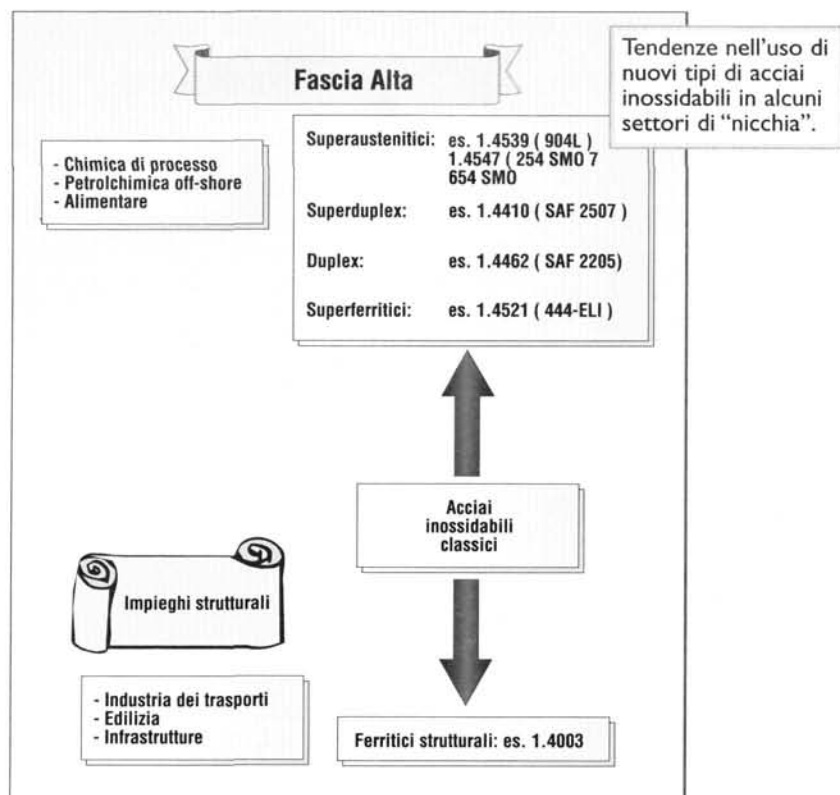
Dai formati standard forniti da acciaieria è comunque possibile ottenere qualsiasi genere di sottoformato a misura per richieste particolari.

A livello di normativa italiana, si può fare riferimento, per i vari prodotti sopra citati, alle seguenti

Acciai inossidabili classici

GRUPPI	SEGMENTI	
Edilizia	Canne fumarie	 <p>Canna fumaria di acciaio inossidabile.</p>
	Parti strutturali	
	Servizi (ascensori, serramenti, etc.)	
Infrastrutture	Impianti per acqua potabile	 <p>Tubi saldati di acciaio inossidabile per il ripristino dell'acquedotto di Torino.</p>  <p>Arredo urbano con tubi saldati inox.</p>
	Impianti di depurazione acque	
	Arredo urbano	
	Ponti e viadotti	
Trasporti	Autobus (parti strutturali)	 <p>Acciaio inossidabile per la struttura di un autobus.</p>
	Auto (impianti di scarico e parti strutturali)	
	Veicoli industriali	

Nuovi settori di impiego per gli acciai inossidabili "classici".



norme UNI:

- UNI 3159: getti di acciaio inossidabile o lega colati in sabbia, resistenti al calore (refrattari). Qualità, prescrizioni e prove;
- UNI 3161: getti di acciaio inossidabile colati in sabbia, resistenti alla corrosione. Qualità, prescrizioni e prove;
- UNI 6900: acciai legati speciali inossidabili resistenti alla corrosione e al calore;
- UNI 6901: semilavorati e barre laminati o fucinati a caldo e vergella di acciaio speciale inossidabile resistente alla corrosione e al calore;
- UNI 6904: tubi senza saldatura di acciaio legato speciale inossidabile resistente alla corrosione ed al calore;
- UNI 8317: prodotti finiti piatti di acciaio inossidabile resistente alla corrosione e al calore. Lamiere, lamiere sottili, nastri e nastri larghi.

IL FENOMENO "CORROSIONE"

È sempre molto aleatorio poter prevedere, in generale, il comportamento nel tempo di un determinato materiale metallico se messo

in contatto con un certo ambiente. Gli acciai inossidabili, grazie alla loro composizione chimica, hanno la possibilità di autopassivarsi, come già visto, e di poter far fronte alle più disparate condizioni di aggressione.

Sono molti i parametri che giocano a favore dell'innesco di un fenomeno corrosivo:

- la concentrazione dell'agente aggressivo;
- la temperatura dell'agente aggressivo;
- la velocità di fluido sulle pareti del materiale;
- la finitura superficiale del metallo, ecc.

Normalmente però, i due valori più determinanti da tenere presente sono la concentrazione e la temperatura della sostanza corrosiva; ecco perché nella scelta di un certo inox in funzione dell'ambiente nel quale dovrà lavorare, è necessario conoscere, se possibile, almeno, questi due parametri. In generale, il miglior comportamento nei confronti dei fenomeni corrosivi, è offerto dagli acciai austenitici, in particolare da quelli legati al cromo-nichel-molibdeno, che

presentano un film passivo particolarmente resistente.

Nell'ordine poi vengono i ferritici ed i martensitici che sono quelli a più basso tenore di cromo.

Per evitare che si inneschino corrosioni sugli inox, oltre a scegliere opportunamente il tipo di materiale in funzione del servizio al quale esso è destinato, è bene anche seguire alcune precauzioni durante le lavorazioni e la messa in opera.

È necessario intanto, sia in fase di stoccaggio dei prodotti, sia in fase di trasformazione durante le lavorazioni, sia durante le installazioni, evitare contaminazioni con materiali meno nobili, come ad esempio quelle causate dall'acciaio comune. L'inox eventualmente contaminato, anche in presenza di un aggressivo molto blando, può macchiarsi e dare inizio a fenomeni corrosivi localizzati.

Le unioni con materiale d'apporto devono venire eseguite con gli elettrodi indicati per il materiale di base; mentre le giunzioni effettuate con elementi meccanici devono prevedere che i materiali costituenti gli organi di collegamento siano di inox o di pari nobiltà (per esempio monel, ecc.). Questo per evitare che si inneschino corrosioni galvaniche dovute alla differente nobiltà dei metalli messi a contatto. Non bisogna utilizzare, sui componenti finiti, soluzioni detergenti o decapanti che abbiano elevate percentuali di sostanze clorurate (ad esempio non si deve usare acido cloridrico o muriatico commerciale). A volte, per pulire efficacemente le superfici dell'inox è sufficiente la normale acqua e sapone, oppure acqua e soda.

In casi dove la sporcizia sia molto più resistente, o dove sia necessario procedere a decapaggio (per esempio per i cordoni di saldatura) o a decontaminazione (nel caso di contaminazione ferrosa), è possibile utilizzare appositi prodotti in pasta da impiegare in maniera localizzata sulla zona da trattare.

L'Ing. F. Capelli è il Direttore del Centro Inox di Milano.