

# Sistemi inossidabili



**I. Da circa vent'anni il Comune di Milano pone archetti di tubo saldato d'inossidabile austenitico Aisi 304 a protezione dei marciapiedi dal posteggio abusivo e barriere di tubi saldati, sempre di Aisi 304, a protezione di studenti all'uscita dalle scuole e di pedoni lungo le strade più trafficate.**

Se, genericamente parlando, un sistema è la realizzazione completa di un progetto, capace d'attuare e svolgere le funzioni per le quali è pensato, la definizione di "sistema inossidabile" è legata essenzialmente a due suoi caratteri peculiari:

- il sistema è interamente realizzato con uno o più tipi di acciai inossidabili;
- il sistema è realizzato con una parte essenziale di componenti vitali e qualificanti costruiti con questi materiali.

Un esempio di sistema del primo tipo sarà costituito da un impianto di trattamento del latte, interamente costruito, attualmente, con ac-

ciaio inossidabile.

Un'esemplificazione del secondo sarà una struttura di calcestruzzo armato, dove l'armatura sia realizzata, nei punti critici, con tondi nervati di acciaio inossidabile.

Un'altra considerazione che vale la pena d'aver sempre presente è che un sistema inossidabile non deve essere sempre concepito in termini di necessità di resistere alla corrosione, ma anche, più semplicemente, in termini di convenienza economica, dove la resistenza alla corrosione non è più una "conditio sine qua non" della scelta del materiale, ma più semplicemente, una opzione conveniente, in grado di

La progettazione dei sistemi inossidabili non è più difficoltosa di quella di altri, è solamente diversa. Essa deve tener conto di tutte le caratteristiche peculiari di questi materiali. È necessario combinare armonicamente tra loro otto categorie elementari che spaziano dalle caratteristiche meccaniche alle fisiche, dalla lavorabilità alla componibilità, dalle finiture superficiali alla resistenza alla corrosione, dal disegno al costo globale riferito al ciclo economico di vita

**2. È noto che, per ovviare alla limitata conducibilità termica degli inossidabili austenitici, il vasellame da fuoco costruito con essi deve essere munito di un fondo termodiffusore realizzato con materiale di conducibilità termica più elevata.**

ottimizzare la durata del ciclo economico di vita del sistema.

Al primo caso apparterrà certamente un impianto per la produzione di acido nitrico mentre il secondo sarà rappresentato da una struttura d'arredo urbano quali sono gli archetti dissuasori, posti a protezione dei marciapiedi contro il parcheggio selvaggio o le barriere poste a protezione degli studenti all'uscita degli edifici scolastici (figura 1).

Fatta questa premessa, necessaria per delineare i termini del problema, nel caso dei sistemi inossidabili, per un corretto successo progettuale, anche in termini d'economia reale, debbono essere connesse armonicamente tra loro otto categorie elementari che, enunciate sinteticamente, sono riconducibili a :

- le caratteristiche meccaniche,
- le caratteristiche fisiche,
- la lavorabilità,
- la componibilità,
- la finitura superficiale,
- la resistenza alla corrosione,
- il disegno,
- il costo globale riferito al ciclo economico di vita del sistema.

Vale la pena di sottolineare che solamente l'armonica combinazione di ciascuna categoria alle altre, garantirà il successo progettuale. Esse, infatti, non hanno una scala gerarchica da rispettare, ma sono tutte egualmente necessarie tanto da poter essere enunciate senza ordini prioritari.

Poiché è assolutamente impossibile riportare in un articolo di questo genere tutte le caratteristiche dei 160 tipi d'acciai inossidabili attualmente unificati secondo Uni En 10088 - settembre 2005, ci limitiamo, a scopo esemplificativo, ma non limitativo, a esprimere alcune considerazioni sulle caratteristiche dei tipi appartenenti alle tre famiglie tradizionali degli inossidabili: i martensitici, i ferritici e gli austenitici. In particolare faremo riferimento, quando sarà necessario, alle analoghe caratteristiche degli acciai comuni, più generalmente noti.

Un'ultima considerazione introduttiva è quella



che riguarda l'innovatività della progettazione con gli inossidabili. Progettare con essi non è più difficile che progettare con altri materiali, semplicemente è diverso e occorre sempre evitare di ricalcare pedissequamente la progettazione di un sistema inossidabile con i criteri usati per progettare, correttamente, con altri materiali, pena l'insuccesso, quasi consequenziale.

## Le caratteristiche meccaniche

Esse differiscono da una famiglia all'altra degli inossidabili e a volte anche all'interno di ciascuna d'esse.

I tipi martensitici innalzano le loro caratteristiche resistenziali mediante trattamenti termici, hanno una buona resistenza alla fatica, all'usura e allo scorrimento viscoso.

I tipi ferritici non innalzano le loro caratteristiche resistenziali con trattamenti termici, ma sono incrudibili mediante deformazione plastica a freddo e hanno una buona resistenza all'usura.

I tipi austenitici innalzano le loro caratteristiche resistenziali solo per incrudimento mediante deformazione plastica a freddo e non per mezzo di trattamenti termici, hanno una buona resistenza alla fatica, presentano un'elevata resistenza agli urti anche a temperature molto basse, hanno una buona resistenza allo scorrimento viscoso e sono resistenti all'usura. In particolare presentano allungamenti a rottura molto elevati, dell'ordine di circa il doppio di quelli degli acciai comuni.

## Le caratteristiche fisiche

Anche in questo caso i diversi tipi di inossidabili presentano sostanziali differenze passando da

una famiglia all'altra. Se desideriamo riferirci solamente a quelle di maggior uso, il quadro può essere sintetizzato, a un dipresso, come segue.

I coefficienti di conducibilità termica sono normalmente inferiori a quelli degli acciai comuni. Nel caso dei tipi austenitici i valori risultano nettamente bassi, nell'ordine di circa un terzo dei precedenti (figura 2); per i martensitici e i ferritici, viceversa, i valori, pur rimanendo inferiori a quelli degli acciai comuni, sono un po' più elevati che nel caso degli austenitici, raggiungendo entità nell'ordine del 60% i primi e del 50% i secondi, salvo casi particolari.

I coefficienti di dilatazione termica, sempre riferiti a quelli degli acciai comuni, hanno una netta differenziazione tra i tipi. I martensitici e i ferritici presentano valori non molto dissimili da quelli degli acciai comuni. Al contrario i tipi austenitici posseggono coefficienti più elevati nell'ordine del 50% in più di quelli degli acciai comuni.

Le masse volumiche dei tipi austenitici, contenenti nichel, sono un po' superiori a quelli degli acciai comuni, proprio in funzione della massa volumica di questo elemento maggiore di quella del ferro e del cromo. Al contrario quelli dei tipi martensitici e ferritici sono leggermente inferiori in funzione del loro contenuto di cromo, elemento di massa volumica inferiore a quella del ferro e del nichel.

I coefficienti di permeabilità magnetica dei tipi austenitici, non incruditi per deformazione plastica a freddo, sono molto bassi, dell'ordine della permeabilità del vuoto, ma tendono a innalzarsi decisamente mano a mano che aumenta il loro livello di incrudimento. I tipi martensitici e ferritici viceversa, hanno coefficienti di permea-

bilità magnetica dello stesso ordine di grandezza di quelli degli acciai comuni.

Le resistività elettriche sono molto elevate per i tipi austenitici, nell'ordine di sei volte di quelle degli acciai comuni, mentre per i tipi martensitici e ferritici i valori sono un po' inferiori restando, comunque, superiori a quelle degli acciai comuni.

## Le caratteristiche di lavorabilità

Se definiamo in generale come lavorabilità l'attitudine di un generico materiale a lasciarsi formare con tecniche di deformazione plastica o di asportazione di materiale, è utile sottolineare che, nel caso degli inossidabili, essa differisce da tipo a tipo e anche nei confronti degli acciai comuni. In termini generali, per ricondurci alle principali tecniche operative, possiamo delineare un quadro riferito a quelle operanti per deformazione plastica a freddo e per asportazione di truciolo.

Le lavorabilità per deformazione plastica a freddo, per quanto riguarda i tipi martensitici e ferritici, sono relativamente simili tra loro e a quelle degli acciai comuni. Al contrario, per quanto concerne i tipi austenitici, proprio in accordo con le loro caratteristiche di allungamento a rottura, alle quali abbiamo già accennato, essi mostrano un'eccellente attitudine a essere lavorati con queste tecniche. Ne consegue che, per essi, già in fase progettuale, sarà opportuno privilegiare, quando possibile, forme di componenti e di sistemi che siano ottenibili mediante operazioni di deformazione plastica a freddo. Questa considerazione è valida anche da un punto di vista economico in quanto la massa del materiale costituente lo sfrido di un grezzo che genera il pezzo finito per deformazione plastica a freddo è generalmente limitata e certamente inferiore a quella trasformata in truciolo nel caso di asportazione di materiale.

Le lavorabilità per asportazioni di truciolo sono anch'esse differenti tra tipi e tipi di inossidabili e generalmente inferiori a quelle degli acciai co-

muni. In particolare per quanto concerne i tipi martensitici e ferritici sono dell'ordine di circa i tre quinti di quella degli acciai comuni allo zolfo, mentre quelle degli austenitici non superano la metà. Per questa ragione, quando è possibile, si ricorre a inossidabili a lavorabilità migliorata con indici di truciolabilità abbastanza elevati, ma comunque sempre inferiori a quelli degli acciai comuni allo zolfo.

## La componibilità

I mezzi per connettere le parti di un sistema inossidabile, possono spaziare in differenti sistemi operativi attinenti a connessioni di molteplici tipi, eventualmente anche con materiali eterogenei. La saldatura per fusione è praticabile, ovviamente con opportune scelte di parametri operativi in funzione delle caratteristiche fisiche già viste, sui tipi austenitici, ferritici a basso contenuto d'elementi interstiziali, ferritici stabilizzati e, con opportuni accorgimenti operativi, sui tipi martensitici. Non è, peraltro, consigliabile per gli inossidabili a lavorabilità migliorata.

Senza dilungarci nei dettagli sulle singole tecniche, possiamo sintetizzare quelle utilizzabili, come segue:

- saldatura con elettrodo rivestito,
- saldatura TIG,
- saldatura MIG,
- saldatura all'arco sommerso,
- saldatura al plasma (microplasma per spessori sottili),
- saldatura al laser,
- saldatura con fascio elettronico.

La saldatura a resistenza è praticabile, ovvia-

mente con opportune scelte dei parametri operativi, su tutti i tipi austenitici, ferritici e martensitici con riferimento alle tecniche operative:

- per punti,
- a rilievi,
- per rullatura,
- a scintillio.

La saldatura per attrito, utilizzante, com'è noto, il calore generato per attrito dal movimento relativo coassiale di elementi cilindrici posti a contatto e pressati tra loro, è utilizzabile per unire tutti i tipi di inossidabili anche in giunzioni eterogenee, come nel caso di stelo (martensitico) e fungo (austenitico) di valvole per motori a scoppio.

Le brasature dolci e forti sono praticabili, con opportuna scelta dei metalli d'apporto, su tutti i tipi di inossidabili, anche in giunzioni eterogenee. L'incollaggio strutturale, ovviamente con opportuna progettazione anche formale del giunto, è praticabile su tutti i tipi di inossidabili, anche in giunzioni eterogenee.

Le giunzioni meccaniche sono realizzabili sia su elementi piani sia su elementi lunghi e più precisamente:

- l'aggraffatura è praticabile su laminati piani sottili, su inossidabili austenitici e ferritici, ma non è consigliabile su tipi martensitici,
- l'avvitatura, la chiodatura e la rivettatura sono praticabili su tutti i tipi di inossidabili avendo l'accortezza di valutare la compatibilità dell'elemento di unione con gli inossidabili, così da evitare pericoli di corrosione galvanica tra gli elementi connessi.

### 3. La Géode, struttura geodetica di acciaio inossidabile di 36 metri di diametro, si erge dal 1986 nel Parc de la Villette, a Parigi.

La finitura superficiale di ciascuno dei 6.433 triangoli di lamiera di Aisi 316 che la compongono è ottenuta per lucidatura a specchio. Essa riflette, deformandolo, l'ambiente circostante che muta nel tempo, così da far vivere l'edificio, d'ora in ora, sempre diverso.



## La finitura superficiale

È una caratteristica tipica degli inossidabili in quanto questi materiali, che si proteggono con un meccanismo di autopassivazione, non abbisognano, se non per motivi puramente estetici, di ricoprimenti protettivi per contrastare gli attacchi corrosivi. Ne consegue che, nella maggior parte dei casi, è conveniente conservare durante l'intero ciclo lavorativo la finitura superficiale dell'elemento costruttivo di partenza (lamiera, barra, nastro, tubo e così via) eventualmente salvaguardandola, se del caso, con pellicole protettive asportabili.

La finitura dell'elemento costruttivo ha un costo ed è pagata assieme all'elemento stesso, all'atto dell'acquisto. Sarebbe quindi antieconomico danneggiarla per doverla ripristinare o comunque riparare, sempreché ciò sia possibile. Ovviamente questo fatto avrebbe ricadute negative sul costo globale del sistema inossidabile. Sempre nell'ottica di offrire una visione panoramica sui sistemi di finitura tipici degli inossidabili, essi possono essere così sintetizzati.

La finitura dell'elemento costruttivo è ottenuta:

- per deformazione plastica (laminazione a caldo o a freddo, trafilatura),
- per asportazione superficiale di materiale (asportazione di truciolo, abrasione, lucidatura meccanica, lucidatura elettrolitica, finitura per attacco chimico).

La finitura del sistema o dei componenti è ottenuta:

- per deformazione plastica a freddo (coniatura, ricalcatura, rullatura, pallinatura),
- per asportazione superficiale di materiale, come nel caso già indicato per l'elemento costruttivo (figura 3),
- per barilatura o burattatura, soprattutto per minuterie.

Qualora, per questione estetiche e normative, sia il sistema inossidabile sia il componente debbano assumere colorazioni diverse da quella bianco argentea tipica di questi materiali, possono essere utilizzate tecniche di brunitura, colorazione per interferenza, pitturazione, smaltatura.

## La resistenza alla corrosione

Pur senza entrare in dettagli sul fenomeno corrosione degli inossidabili, che esula dai semplici criteri progettuali ai quali desideriamo attenerci, è opportuno ricordare che nella totalità dei

tipi, essi si proteggono mediante un meccanismo di autopassivazione. Esso consente loro di formare una sottilissima pellicola superficiale di ossidi composti di cromo, dinamicamente stabile nell'ambiente nel quale operano, che li preserva dall'attacco corrosivo. Vale la pena di sottolineare che la stabilità di questa pellicola (film passivo), di spessore dell'ordine molecolare, è caratteristica di ciascun tipo d'inossidabile.

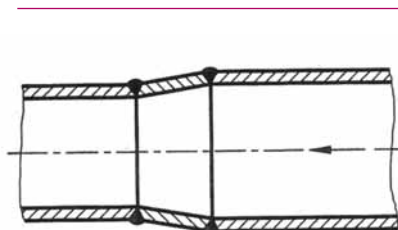
Ne scende che un valido criterio di scelta di un inossidabile dipende essenzialmente dall'ambiente nel quale esso deve operare, definibile in funzione de:

- la composizione chimica dell'aggressivo o degli aggressivi,
- la loro concentrazione,
- la temperatura reale,
- la pressione ambientale,
- lo stato di agitazione.

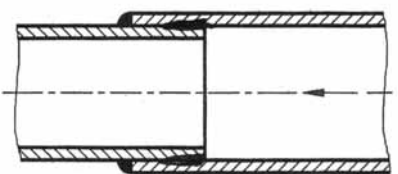
Inoltre l'inossidabile oppone una resistenza all'attacco corrosivo che è funzione de:

- la sua composizione chimica,
- la sua struttura metallografica,
- l'insieme delle sollecitazioni alle quali è sottoposto,
- la temperatura superficiale reale dell'elemento,
- le modalità di messa in opera del sistema,
- il disegno dell'elemento e della sua connessione con gli altri.

Il combinato disposto delle caratteristiche ambientali e di quelle dell'inossidabile deve consentire a quest'ultimo di mantenersi in condizioni di passività stabile per tutta la vita prevista



corretto



errato

del sistema.

Ciò equivale a rispondere positivamente a due quesiti fondamentali:

- l'ambiente nel quale opera il sistema consente lo stato di passività stabile dell'inossidabile o degli inossidabili con i quali è costruito il sistema?
- le sollecitazioni, la messa in opera, il disegno consentono al sistema di rimanere in stato di passività stabile nell'ambiente?

Solamente la doppia risposta positiva al doppio quesito consente una decisione progettualmente corretta.

Non a caso non esiste l'acciaio inossidabile, ma gli acciai inossidabili con caratteristiche peculiari, ciascuno diverso dall'altro, anche per quanto riguarda la resistenza alla corrosione. Non a caso non esiste un solo tipo di corrosione, ma una molteplicità di tipi, ciascuna innescata da una serie di cause e di concause.

L'errore progettuale più marchiano da un punto di vista corrosionistico sarebbe quello d'ignorare il criterio corretto sopra enunciato per fidarsi unicamente, per esorcizzare il fenomeno corrosivo, nell'aggettivo "inossidabile" che qualifica il materiale.

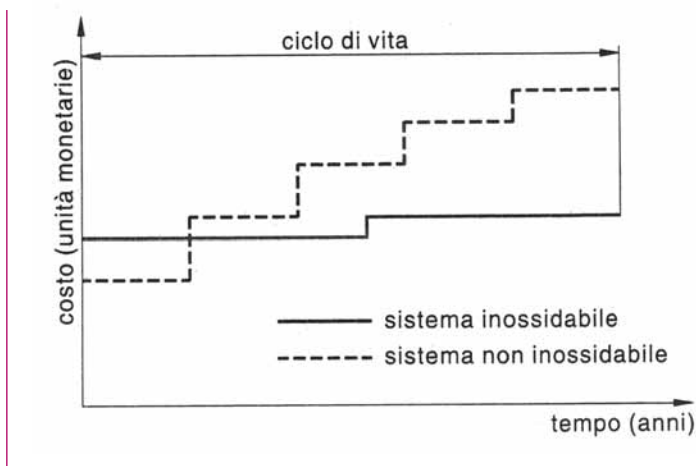
## Il disegno

Esso deve essere inteso come il vero e proprio momento creativo della sintesi progettuale del sistema inossidabile e deve essere pensato in modo da rispettare sei condizioni fondamentali:

- realizzare le corrette funzioni del sistema,
- attuare un corretto ciclo tecnologico realizzativo e di messa in opera del sistema,
- prevedere una composizione correttamente semplice delle parti,
- permettere di effettuare i controlli durante il funzionamento del sistema e consentire eventuali interventi manutentivi, senza obbligare a fermate prolungate del sistema,
- porre gli inossidabili in condizioni ottimali di resistenza all'attacco corrosivo,
- consentire di ottimizzare il costo globale del sistema, riferendolo al suo ciclo econo-

**4. La connessione a cannocchiale di due tubazioni inossidabili di diverso diametro può creare le premesse per una corrosione in fessura tra la parete esterna del tubo di diametro minore e quella interna del tubo di diametro maggiore. È il tipico caso di disegno errato di una giunzione che vanifica la resistenza alla corrosione dell'intero sistema inossidabile.**

**5. La scelta corretta di un sistema in funzione del suo intero ciclo economico di vita non può arrestarsi alla sola valutazione del costo iniziale.** Lungo l'intero arco di vita possono infatti svilupparsi costi d'esercizio ripetitivi e aggiuntivi che possono incrementare notevolmente il suo LCC, come mostra qualitativamente l'andamento a gradini del diagramma.



mico di vita. Mentre il rispetto delle prime quattro condizioni enunciate è essenzialmente legato al rispetto di comuni e validi criteri progettuali, le ultime due sono tipiche dei sistemi inossidabili.

Per quanto riguarda il rispetto delle condizioni atte a sviluppare la capacità di resistere alla corrosione del sistema, è necessario che il disegno rispetti il criterio precedentemente annunciato. Limitandoci solamente ad un esempio, peraltro non limitativo, ci riferiamo alla connessione di due tubazioni di diverso diametro (figura 4).

Nel caso della connessione a cannocchiale, errata, si creano le premesse per una corrosione in fessura che si sviluppa tra la parete esterna del tubo di minor diametro e di quella interna di diametro maggiore conseguente al fluire nella tubazione d'una soluzione anche blandamente corrosiva.

Per quanto concerne il costo globale riferito al ciclo economico di vita del sistema è opportuno introdurre un ulteriore concetto al quale dedichiamo il paragrafo che segue.

**Il costo globale riferito al ciclo economico di vita**

È noto, da un punto di vista generale, che il costo d'un sistema durante tutto il suo intero ciclo di vita non coincide, solitamente, con il costo iniziale del sistema stesso.

Infatti, stabilito all'atto della progettazione l'arco temporale di vita del sistema in modo che es-

so sia attivo, in condizione di efficienza e di sicurezza lungo tutto quest'arco prima di divenire obsoleto e quindi antieconomico, è necessario, secondo validi criteri progettuali, determinare preventivamente quale sarà il suo costo effettivo durante tutta la sua vita.

Esso, normalmente, sarà funzione di tutti i costi iniziali, valutabili all'atto della progettazione, aumentati di tutti i costi di esercizio per manutenzioni, riparazioni, sostituzioni di elementi, che si verificano lungo l'arco di vita, diminuito del valore residuo del sistema al termine della sua vita, oppure aumentato del costo di smaltimento dello stesso, in caso contrario.

Poiché è evidentemente impossibile effettuare a consuntivo questa valutazione all'atto della progettazione, quando non si sono ancora operate le scelte riguardanti i differenti tipi di materiali con i quali realizzare il sistema, si fa riferimento, in termini preventivi, al calcolo d'un parametro economico, espresso in unità monetarie, valutabile all'atto della progettazione, denominato Life Cycle Cost designato sinteticamente con l'acronimo LCC.

Esso risulta valutabile, com'è noto, secondo la relazione

$$LCC=CI + pv (CE)$$

dove CI è l'insieme di tutti i costi iniziali (elencati esemplificativamente ma non limitativamente, in costi progettuali, costi per l'approvvigionamento dei materiali e per le loro lavorazioni, costi per la costruzione del sistema e la sua

installazione, costi per la sua messa in opera) determinati al loro valore reale all'atto della scelta dei materiali con i quali realizzare il sistema; pv (CE) è l'insieme dei costi di esercizio (enunciati esemplificativamente, ma non limitativamente, in costi per i controlli, per gli interventi manutentivi, per la sostituzione di parti, per le perdite di produzione conseguenti al fuori esercizio del sistema, per guasti) attualizzati, con opportuni algoritmi matematici, nell'intorno temporale della progettazione.

Senza addentrarci volutamente nel meccanismo di calcolo di LCC<sup>1</sup> appare facilmente constatabile che qualora nella funzione LCC, sopra riportata, il termine pv (CE) sia fortemente ridotto, per il contenimento dei costi d'esercizio, il parametro LCC risulta di entità contenuta anche in presenza di valore più elevato del termine CI, dovuto a maggiori costi sostenuti per l'acquisto di materiali di valore più elevato qual è quello degli acciai inossidabili.

Ne scende, come conseguenza, che validi criteri progettuali di sistemi inossidabili possono comportare la scelta conveniente di acciai inossidabili per contenere i costi d'esercizio del sistema, accrescendone nel contempo, se del caso, il valore residuo al termine del suo ciclo di vita (figura 5).

A conclusione d'una sintetica esposizione dei criteri progettuali da utilizzare con gli acciai inossidabili per realizzare sistemi inossidabili, correttamente concepiti anche in termini di economia reale rispetto all'intero ciclo economico di vita del sistema, possiamo ribadire quanto avevamo, per altro, anticipato nella premessa.

Per progettare con successo con questi materiali è necessario avere sempre presente che solamente la cosciente attenzione all'insieme, armonicamente assortito, delle loro caratteristiche peculiari determina il successo progettuale del sistema.

La diversità di questi, rispetto ad altri materiali, quali ad esempio gli acciai comuni, se ben sfruttata, anche in termini d'innovazione progettuale, si dimostra, alla fine, la solida base del successo, anche economico, del progetto.

(<sup>1</sup>) A scopo esemplificativo e non limitativo citiamo il programma di calcolo LCC - The Life Cycle Costing of Stainless Steel, edito da International Chromium Development Association (ICDA), Euro Inox - The European Stainless Steel Development Association, Southern Africa Stainless Steel Development Association (SASSDA).

Relazione presentata dal prof. Di Caprio al corso modulare avanzato AIM "Gli acciai inossidabili", 6<sup>a</sup> edizione, Milano 2006.