

Il tubo saldato inox: tecnologie di produzione e campi applicativi

140

IL TUBO SALDATO DI ACCIAIO INOSSIDABILE È OGGI IL FRUTTO DI UNA PERFETTA SINTESI FRA LE TECNOLOGIE IMPIEGATE PER LA FABBRICAZIONE E QUELLE MESSE A PUNTO DAGLI UTILIZZATORI, PER UTILIZZO NEI MANUFATTI E IN IMPIANTI DESTINATI A UNA SEMPRE PIÙ VASTA RETE DI MERCATI DI CONSUMO

FAUSTO CAPELLI, PAOLO VIGANÒ

Il tubo saldato si ottiene solitamente da nastro di adatto spessore che viene piegato con l'ausilio di una serie di gabbie a rulli, in parte motorizzati e in parte folli, che hanno la funzione di formare con gradualità il tubo.

A valle della serie di gabbie a rulli è posizionato il gruppo di saldatura che provvede alla giunzione longitudinale dei due lembi. Il tubo saldato viene infine sottoposto a solubilizzazione e decapaggio. Unisce a elevate prestazioni meccaniche, buona lavorabilità e formabilità.

I principali metodi di saldatura utilizzati per la produzione industriale dei tubi saldati di acciaio inossidabile sono essenzialmente i seguenti:

- TIG (senza metallo d'apporto);
- HF (induzione ad alta frequenza);
- laser.

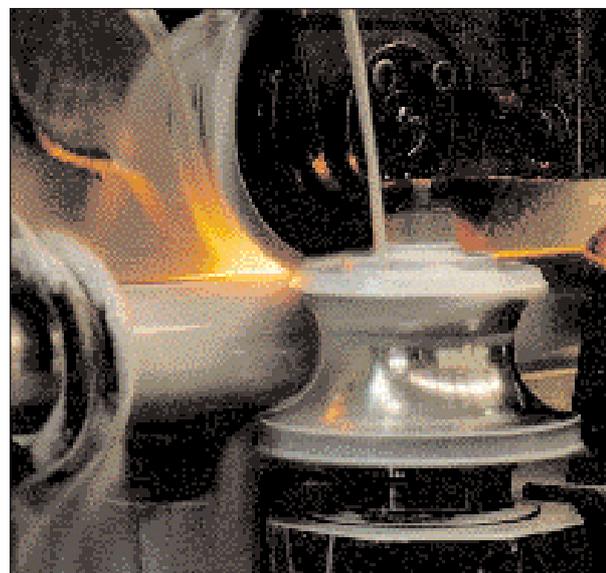


Fig. 1 Fabbricazione di tubi saldati in acciaio inossidabile: saldatura per induzione ad alta frequenza (HF).

Fabrication of welded, stainless steel tubes (HF induction welding process).

Attualmente si stima che la tecnologia TIG rappresenti circa il 65% della produzione globale europea, il restante 35% è occupato dall'alta frequenza (30% circa) e dalla tecnica laser (5% circa). Quest'ultima tecnologia, che garantisce livelli qualitativi molto elevati, nonostante gli ingenti costi iniziali di investimento, sta lentamente espandendosi.

I metodi di saldatura utilizzati non sono in "competizione" fra loro, normalmente è il campo d'impiego dei tubi saldati il fattore determinante che decide a quale tipo di tecnologia affidarsi o quale risulta essere la più conveniente.

WELDED, STAINLESS STEEL TUBE: TECHNOLOGIES AND APPLICATION FIELDS

The welded tube is nowadays the result of a perfect synthesis of fabrication technologies and customised technologies which are set up by users, with applications to manufactured products and production plants dedicated to a more and more wide network of consumption markets



Fig. 2 Scambiatore di calore verticale in AISI 304.
A vertical heat exchanger (material: AISI 304).



Fig. 3 Scambiatore di calore per pigiato d'uva per l'industria alimentare realizzato in AISI 304.
A heat exchanger (material: AISI 304) for grape crush, with applications to the food industry.

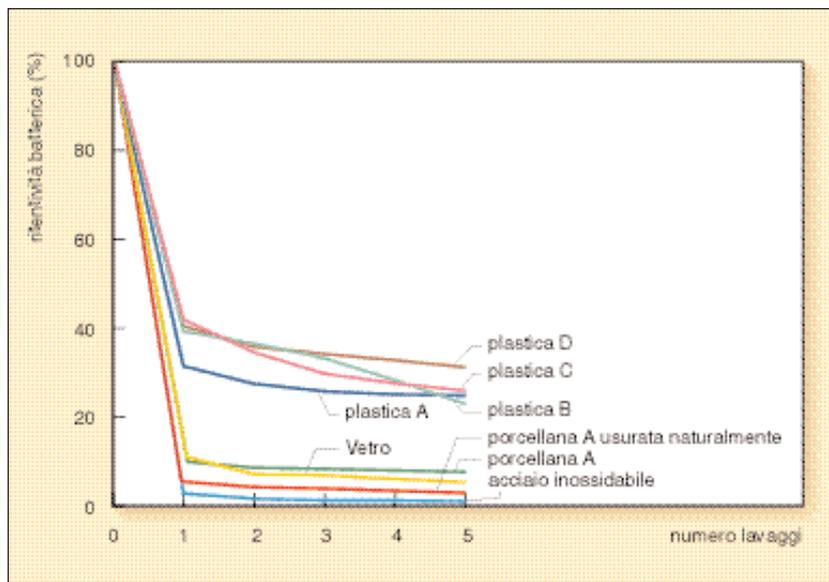


Fig. 4 Andamento del coefficiente percentuale di ritenività del *Micrococcus aureus* su superfici usate di diversi materiali in funzione di una serie di lavaggi con detergenti e risciacquo a circa 70 °C.
Trend of the retentivity coefficient of the *Micrococcus aureus* on used surfaces of diverse materials, as a function of a series of cleansing and rinsing processes performed approx at 70 °C.

Il procedimento HF è caratterizzato da una elevatissima velocità di saldatura. La fusione è raggiunta mediante il riscaldamento a induzione realizzato con una bobina esterna che genera il necessario campo magnetico a sua volta concentrato sui lembi da una impedenza interna. I lembi sono poi accostati e compenetrati tra loro, da uno o più rulli di pressione.

Le produttività ottenibili con il sistema HF, in termini di velocità di saldatura, si possono stimare 20-30 volte superiori a quelle ottenibili da un sistema tradizionale TIG.

ASPETTI CARATTERISTICI DELLE DUE TECNICHE

A una prima indagine, soprattutto dal punto di vista microstrutturale, la saldatura HF presenta caratteristiche certamente interessanti, dato che la zona fusa è estremamente

TECNOLOGIE A CONFRONTO: TIG E HF

Il procedimento TIG (Tungsten Inert Gas) è il più utilizzato per la fabbricazione di tubi saldati inox di qualità. Sfrutta, quale fonte generatrice di calore per la fusione dei lembi da saldare, l'arco che viene mantenuto tra un elettrodo di tungsteno e il tubo in fase di saldatura. L'arco fonde i lembi da unire che, a velocità costante, passano sotto la torcia. Il gas di protezione, inviato attraverso la torcia, avvolge la zona di fusione sulla parte esterna del tubo e, contemporaneamente, con un apposito sistema, è immesso nel tubo per proteggere la zona di fusione anche all'interno, venendo trattenuto in loco con un tampone di tenuta.

Fig. 5 Particolare della nicchia per gli strumenti di misurazione, con gruppo di valvole pneumatiche di distribuzione, di un maturatore per yogurt da 2.000 litri realizzato in AISI 304.

A detail of the measuring instrumentation niche, with the group of pneumatic valves of the distribution device of a yoghurt maturation system (capacity: 2.00 litres, material: AISI 304).

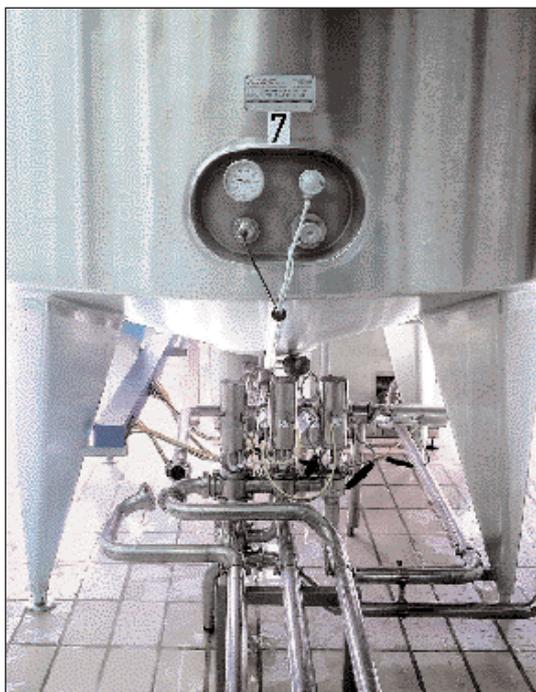
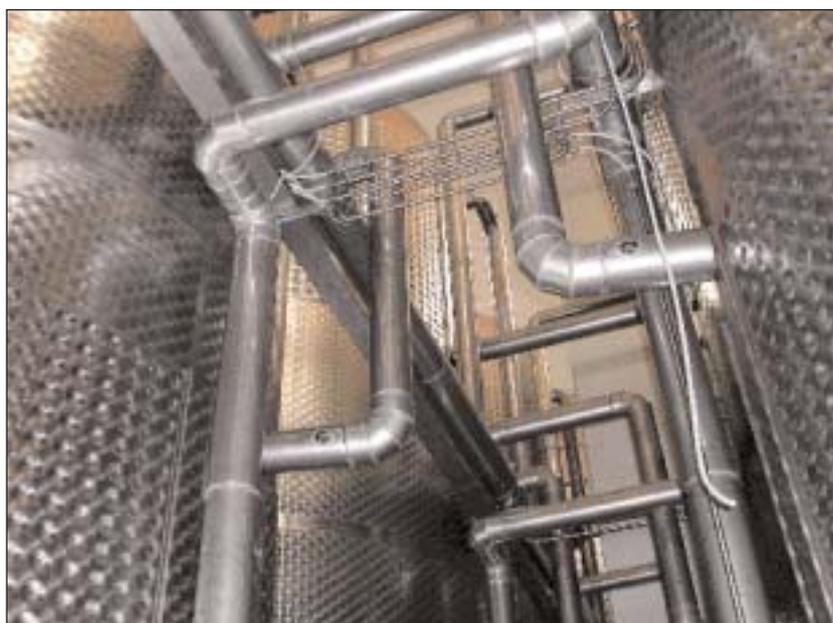


Fig. 6 Sterilizzatore UHT per l'industria delle conserve realizzato in AISI 316.

A UHT sterilizer (material: AISI 316) for conserve industry applications.

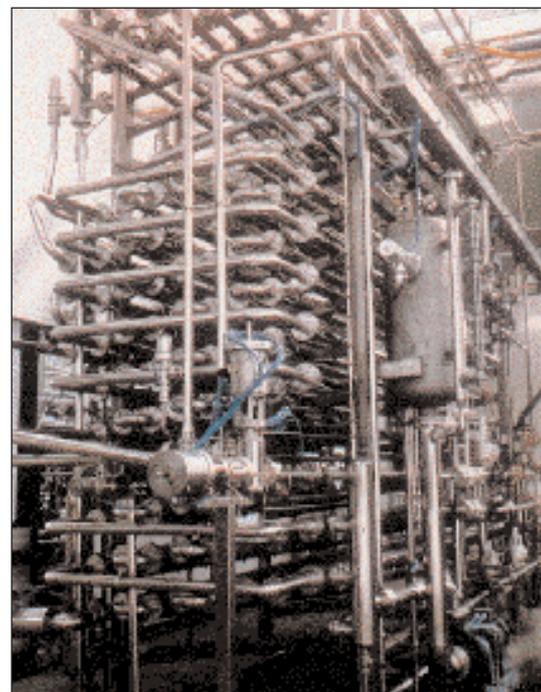
Fig. 7 Tubazioni di raccordo fra serbatoi di una cantina vinicola realizzati in AISI 304, finitura 2B.

Fitting pipes for wine-cellar tanks, material: AISI 302, finishing grade: 2B.



limitata e la zona termicamente alterata (ZTA) è praticamente assente. Il riscaldamento dei lembi avviene in maniera pressoché omogenea su tutto lo spessore e il tempo di permanenza alla temperatura di fusione è dell'ordine di qualche centesimo di secondo. Dal punto di vista geometrico, i rifollamenti del cordone, all'esterno e all'interno, risultano stretti e regolari.

A causa dell'apporto di calore esclusivamente dall'esterno, il sistema TIG interessa



inevitabilmente una zona fusa più ampia con ZTA molto estesa, chiaramente visibile insieme al cordone di saldatura. Tale cordone risulta essere più largo e pronunciato, ma meglio raccordato, facilitando così le operazioni successive di asportazione del cordone stesso. La saldatura TIG, a seconda delle norme, può prevedere o meno il trattamento termico successivo (solubilizzazione per la serie austenitica). La metodologia HF, pertanto, si prospetterebbe, a prima vista, come vincente, sia dal punto di vista qualitativo, che dal punto di vista dei costi di produzione. Mentre relativamente ai costi non ci sono dubbi, sotto l'aspetto qualitativo, invece, è necessario rilevare che il pregio maggiore, vale a dire la ristrettezza della zona fusa, si traduce, in realtà, molte volte in un punto di debolezza quando si esige un prodotto estremamente affidabile e ad alta responsabilità, come, tipicamente, nei settori della chimica e petrolchimica, alimentare e così via. Risulta evidente, infatti, che le caratteristiche descritte si possono ottenere solamente a patto di poter garantire una costanza di condizioni e di parametri di processo non facilmente ottenibili su scala industriale. È sintomatico il fatto che le applicazioni della tecnica alta frequenza (HF) sono attualmente limitate, quasi del tutto, ai tubi

destinati ad applicazioni decorative, strutturali o meccaniche in genere, con totale esclusione dell'impiantistica termica, alimentare, chimica e petrolchimica, farmaceutica. Il sistema TIG, invece, consente una maggior escursione dei parametri operativi, rispetto a quelli ottimali, senza che venga compromessa la qualità della saldatura. È comunque dimostrato che le disomogeneità strutturali, tipiche di questo metodo, non sono tali da penalizzare le proprietà di impiego del tubo. In tab. 1 (a pag. 145) sono stati definiti, in maniera del tutto orientativa, i settori di impiego tipici dei tubi inox in funzione della tecnologia di saldatura adottata.

LE APPLICAZIONI CONSOLIDATE E LE EMERGENTI

Scambiatori di calore

Da sempre la scambiatoristica è uno di quei settori in cui l'acciaio inossidabile trova ampio impiego. Le garanzie di resistenza alla corrosione, unitamente alla buona lavorabilità, consentono la realizzazione di impianti di scambio termico anche di grosse dimensioni che lavorano in condizioni particolarmente gravose. In fig. 2 è visibile uno scambiatore di calore verticale, in fase finale di allestimento nello stabilimento di produzione. Destinato a un impianto petrolchimico negli Stati Uniti, lo scambiatore è stato costruito impiegando tubi saldati e solubilizzati di acciaio inossidabile AISI 304 della lunghezza di 10,3 metri, con diametro di 25,4 mm e spessore di 1,65 mm. Quando si reputi che il fluido di scambio ed altro possano creare le premesse per un attacco localizzato particolarmente intenso, si può sempre ricorrere a materiali al cromo-nichel-molibdeno del tipo AISI 316. Nel settore chimico e petrolchimico per fronteggiare problemi di corrosione sotto tensione (Stress Corrosion Cracking) vengono ormai normalmente impiegati acciai inossidabili bifasici o duplex, in particolare il type 2205 (EN 1.4462).

Settore alimentare

Il settore alimentare è sicuramente quello



Fig. 8 Particolare di un impianto di imbottigliamento di acqua minerale: sono visibili i numerosi tubi lucidati di acciaio inossidabile AISI 304.

Detail of a plant for mineral water bottling: many stainless steel AISI 304, polished tubes are visible in this representation.



Fig. 9 Condensatori e raffreddatori di liquido destinati all'industria chimica.

Liquid condenser and cooling devices, designed for chemical industry applications.

dove l'impiego dell'acciaio inossidabile, tipicamente l'AISI 304, è ormai consolidato da parecchi anni. Il tubo di acciaio inossidabile, e più generalmente l'acciaio inox nei vari formati, viene impiegato nel settore alimentare non solo per le sue elevate caratteristiche di resistenza alla corrosione ma anche in virtù della sua igienicità. Infatti la superficie del materiale, liscia, compatta e impermeabile, non si altera con l'uso, con gli urti o con gli sbalzi termici, e non offre appigli allo sporco e alle incrostazioni. Essendo omogeneo nella massa e in superficie, l'acciaio inox non presenta il pericolo che hanno tutti i materiali protetti da rive-

Fig. 10 Fase di assemblaggio (saldatura MIG) del padiglione dell'autobus. I tubi utilizzati sono quadri e rettangoli, in AISI 304, saldati in alta frequenza.

Assembling (by MIG welding) phase of a bus roof. AISI 304, HF welded, square and rectangular tubes are used.

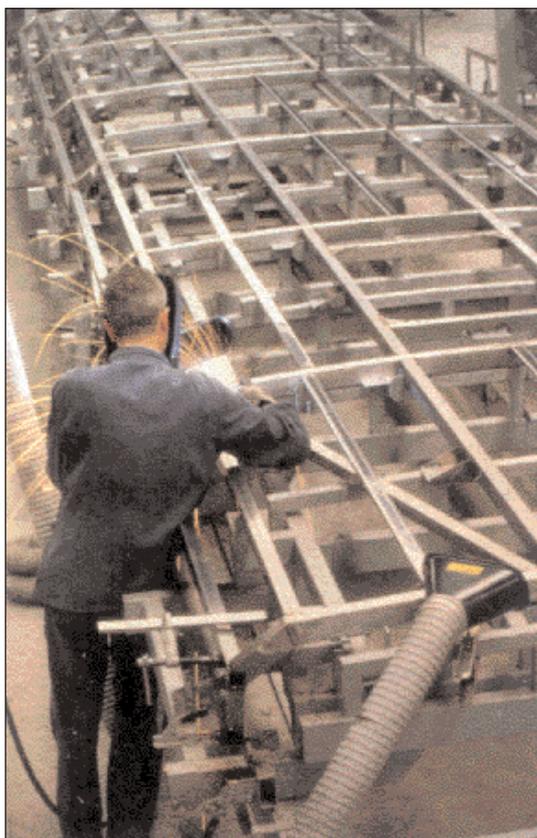


Fig. 11 Il traliccio autoportante in attesa di venire completato con l'applicazione delle lamiere esterne delle fiancate.

A self-supporting mast to be completed by assembling the external plates onto the sides.

stimenti superficiali: che cioè con il tempo, l'usura, le ingiurie meccaniche e gli sbalzi termici il rivestimento si scheggia o si degradi. Oltre a una elevata rimovibilità batterica, per cui il materiale si presta molto bene a cicli di lavaggio e sanificazione, test sperimentali hanno dimostrato che l'acciaio inossidabile possiede anche una bassa ritenività batterica. In fig. 4 (a pag. 141) il

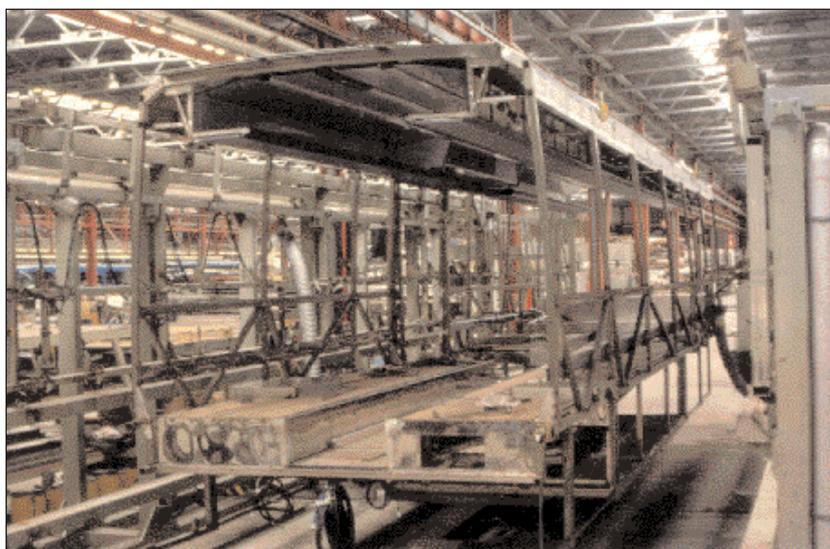


grafico mostra l'andamento del coefficiente percentuale di ritenività del "Micrococcus Aureus" su superfici usate di diversi materiali in funzione di una serie di lavaggi con detergenti e con risciacquo a circa 70 °C. Già dopo il primo lavaggio l'inossidabile presenta un valore di ritenività batterica molto ridotto rispetto a quello degli altri materiali e questo valore rimane costante anche per le superfici usate, a differenza di altri materiali che con l'uso diventano sempre meno decontaminabili. Infine si ricorda che il Decreto Ministeriale del 21 marzo 1973 ("Disciplina igienica degli imballaggi, recipienti, utensili, destinati a venire in contatto con le sostanze alimentari o con sostanze d'uso personale") riporta la "lista positiva" degli acciai inossidabili, cioè la lista degli acciai inox impiegabili nel settore alimentare. Tale decreto ha trovato poi applicabilità a livello europeo nella direttiva 89/109/CE.

Settore chimico e petrolchimico

I settori chimico e petrolchimico rappresentano certamente dal punto di vista applicativo, insieme all'alimentare, i due settori ove il tubo saldato di acciaio inossidabile trova maggior impiego. Utilizzato prevalentemente per il convogliamento di fluidi (liquidi o gassosi), il tubo saldato in acciaio inox viene impiegato in questi settori per le sue ottime caratteristiche di resistenza alla corrosione. In fig. 9 sono mostrati dei condensatori e raffreddatori di liquido impiegati nell'industria chimica.

Settore trasporti

Il settore dei trasporti è uno dei settori d'impiego emergenti dell'acciaio inossidabile, non solo per quello che riguarda il tubo saldato. Inizialmente impiegato per la produzione di sistemi di scarico e marmitte catalitiche (solitamente realizzati in AISI 409), il tubo saldato inox ha iniziato a trovare largo impiego anche per applicazioni di tipo strutturale. In particolare, tubi quadri e rettangolari di acciaio inossidabile vengono utilizzati per la realizzazione del traliccio degli autobus (telaio autoportante). I tubi, solitamente in AISI 304, saldati in alta frequenza, vengono assemblati con l'ausi-

TAB. 1 SETTORI DI IMPIEGO TIPICI DEI TUBI INOX IN FUNZIONE DELLA TECNOLOGIA DI SALDATURA ADOTTATA

| Settore di impiego | Tecnologia di saldatura |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Decorazione/ornamentale Strutturale/costruzione Trasporti (impianti di scarico/telai) | Alta frequenza/laser Alta frequenza/laser Alta frequenza/laser |
| Alimentare | TIG solubilizzato e non |
| Conduzione fluidi scarsamente aggressivi | TIG laser non solubilizzato |
| Conduzione fluidi altamente aggressivi Chimica, petrolchimica, gas energia, cartaria | TIG laser solubilizzato |
| Scambiatori di calore, evaporatori, dissalatori, farmaceutica | TIG solubilizzato |

lio di apposite “dime”, per mezzo di tecnica MIG. Una volta completata con tutti gli altri componenti, il traliccio viene poi definitivamente posizionata sugli “chassis”. La scelta dell'acciaio inossidabile per una parte strutturale è stata supportata non solo dalle caratteristiche meccaniche del materiale ma anche dal calcolo del costo del ciclo di vita (life cycle cost) del materiale. Su un arco di 20 anni di vita, se comparato con il tradizionale acciaio al carbonio verniciato, l'impiego dell'acciaio inox è risultato più conveniente anche dal punto di vista economico.

In ambito europeo si stanno eseguendo test e simulazioni agli elementi finiti per valutare il possibile impiego di componenti strutturali in acciaio inossidabile sulle autovetture per migliorarne la sicurezza, sfruttando la maggior capacità di assorbire energia da parte del materiale in fase di crash.

Acqua potabile e trattamento acque

Per il prossimo futuro il tubo saldato di acciaio inox potrà trovare un aumento di impiego in due nuovi settori emergenti:

- l'acqua potabile (trattamento, stoccaggio e distribuzione);
- trattamento delle acque reflue civili e industriali.

Nell'ambito del risanamento delle condotte idropotabili, a Torino e a Padova, la AAM (Azienda Acque Metropolitane di Torino) e la Azienda Padova Servizi (Amag all'epoca

Fig. 12 Particolare delle tubazioni in acciaio inox che corrono lungo le caverne dell'ex rifugio anti-aereo della seconda guerra mondiale e che ora ospita il nuovo impianto di potabilizzazione del lago di Como.

A detail of the stainless steel pipes running along the length of the caves of the old air-raid shelter used during the World War II, and now containing the new purification system in Como Lake.



Fig. 13 Rubinetto domestico in acciaio inossidabile AISI 304.

House water-tap, stainless steel AISI 304.

Fig. 14 Tubolare inox tondo e rettangolare impiegato per la costruzione dell'ossatura di strutture di protezione dalle intemperie di terrazzi o mansarde.
 Round and rectangular shaped, stainless steel rods used for the construction of skeletons of environmental protection structures for terraces and mansard applications.



dei lavori) hanno utilizzato tubi di acciaio inossidabile AISI 304 per ripristinare la vecchia condotta. Evidenti i vantaggi derivanti dall'impiego di questo materiale: durata superiore, assenza di rivestimenti protettivi interni ed esterni, perfetta rispon-

za ai requisiti igienici.

L'amministrazione comunale di Livigno (SO) invece, nell'ambito del potenziamento del servizio idrico, ha portato a termine la realizzazione di un serbatoio di accumulo da 2000 m³ per il civico acquedotto. Lastre di acciaio inossidabile hanno rivestito le pareti del serbatoio in cemento armato. L'amministrazione comunale, sensibile alla necessità di trattare con la massima cura l'acqua destinata al consumo umano, soprattutto se proveniente da fonti purissime, come quelle di alta montagna, ha voluto utilizzare l'acciaio inox non solo per il serbatoio ma anche per tutti gli accessori, quali tubazioni, raccordi e così via, sfruttando appieno le caratteristiche di igienicità del materiale. Anche Como non ha voluto essere da meno e ha realizzato da un rifugio anti-aereo della seconda guerra mondiale un gigantesco impianto di potabilizzazione in grado di raddoppiare la capacità del precedente. Per tutte le tubazioni e relative raccorderie è stato impiegato l'AISI 304 mentre per le linee convoglianti ozono e additivi chimici l'AISI 316. L'idea di utilizzare l'acciaio inossidabile è nata principalmente pensando, oltre che alla igienicità, alla facilità di manutenzione dell'impianto e quindi in ultima analisi al costo del ciclo di vita. Un nuovissimo impiego del tubo saldato

TAB. 2 PRINCIPALI NORME ASTM PER I TUBI SALDATI E SENZA SALDATURA RELATIVE AGLI ACCIAI INOSSIDABILI

| Materiale | Tubo senza saldatura | Tubo saldato |
|-----------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AISI 304 | A213, A269, A270, A312, A376, A450, A498, A511, A632, A999 | A249, A269, A270, A312, A358, A409, A450, A498, A554, A632, A688, A813, A814, A851, A999 |
| AISI 304L | A213, A269, A270, A312, A450, A498, A511, A632, A999 | A249, A269, A270, A312, A358, A409, A450, A498, A554, A632, A688, A778, A813, A814, A851, A999 |
| AISI 316 | A313, A368, A478, A492, A493, A555, A580 | A249, A269, A270, A312, A358, A409, A450, A498, A554, A632, A688, A813, A814, A999 |
| AISI 316L | A478, A493, A555, A580 | A249, A269, A270, A312, A358, A409, A450, A498, A554, A632, A688, A778, A813, A814, A999 |

inox coinvolge il settore della distribuzione civile dell'acqua potabile: la rubinetteria domestica. In fig. 13 è possibile vedere un esempio di rubinetto ricavato da tubo e assemblato alle restanti parti tramite saldatura.

Settore edilizia e arredo urbano

Il settore dell'edilizia e delle infrastrutture ha subito negli ultimi 10 anni una notevole evoluzione: all'inizio degli anni Novanta il consumo di acciaio inossidabile rappresentava circa il 5% del consumo totale di acciaio inox italiano, oggi invece rappresenta il 10%. In modo particolare si è avuto un notevole sviluppo sia nel settore delle canne fumarie, sia in quello dell'arredo urbano. È sempre più facile vedere esempi di cancellate, recinzioni, archetti dissuasori, pensiline per autobus, cabine telefoniche, ringhiere, corrimano e così via, realizzate in acciaio inossidabile, in modo particolare partendo da tubi saldati in AISI 304 o AISI 316.

LA NORMATIVA

A livello europeo, al momento, esistono solo dei progetti di norma:

- prEN 10216-5 "Seamless steel tubes for pressure purposes - Technical delivery conditions" - Part 5: Stainless steel tubes;
- prEN 10217-7 "Welded steel tubes for pressure purposes - Technical delivery conditions" - Part 7: Stainless steel tubes;
- prEN 10296-2 "Welded steel tubes for mechanical and general engineering purposes" - Part 2: Stainless steel tubes;
- prEN 10297-2 "Seamless steel tubes for mechanical and general engineering purposes" - Part 2: Stainless steel tubes;
- prEN 10312 "Welded stainless steel tubes for the conveyance of aqueous liquids including water for human consumption - Technical delivery conditions."

Nella tab. 2 sono state invece riportate le principali norme Astm per i tubi saldati e senza saldatura relative agli acciai inossidabili AISI 304, AISI 304L, AISI 316 e AISI 316L. ■



Fig. 15 Piantana con posacenere e portarifiuti in AISI 304.
An AISI 304 standard-lamp, with ashtray and litter bin.



Fig. 16 Cancellata in acciaio inox realizzata utilizzando tubo tondo e rettangolare.
Stainless steel railing, obtained by use of round and rectangular tubes.

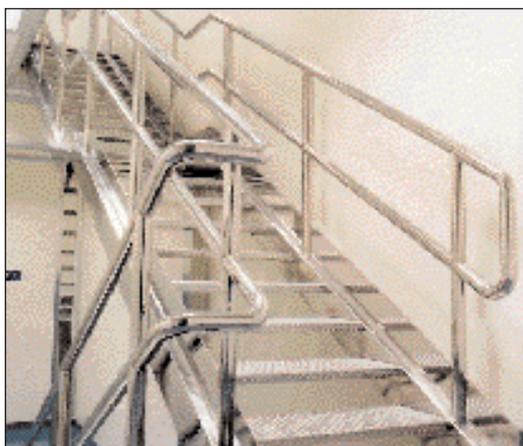


Fig. 17 Scala interna fissa con parapetto tubolare 60X2 in AISI 304 utilizzata nell'industria farmaceutica.

Internal, fixed staircase with an AISI 304, tubular (60 x 2) parapet, used in the pharmaceutical industry.