

STEEL MASTER 2002

NUOVE PROSPETTIVE PER GLI ACCIAI INOSSIDABILI: GLI ACCIAI AD ALTO AZOTO

Autore: Ing. Andrea Carosi

Relatore: Dr Alberto Tamba

INDICE

Sommario	pag. 3
1. Il mercato dell'acciaio inossidabile	
1.1 Generalità sul mercato dell'acciaio inossidabile	pag. 6
1.2 Considerazioni sui fattori tecnologici, economici e commerciali	pag. 8
1.3 Settori di mercato	pag. 9
2. Gli acciai inossidabili ad alto azoto	
2.1 Generalità sugli acciai ad alto azoto	pag. 12
2.2 L'alto azoto negli acciai inossidabili	pag. 13
2.3 L'alto azoto negli acciai duplex	pag. 16
2.4 Processi produttivi	pag. 17
2.5 Potenzialità di applicazione e settori di mercato	pag. 19
Bibliografia	pag. 24

SOMMARIO

Nella cosiddetta 'catena di processo', definita come il ciclo di vita del prodotto che va dalla sua produzione come materiale e/o semiprodotto, alla sua trasformazione in prodotto finito, alla sua commercializzazione (comprensiva di tutte le fasi intermedie) fino al suo utilizzo come componente ovvero bene di consumo durevole e/o di investimento (quindi durante tutto il suo esercizio), concorrono oggi alcuni aspetti (oltre a quelli più ovvi come il prezzo di acquisto) fino a pochi anni fa poco rilevanti.

I due più importanti sono probabilmente i cosiddetti 'Life Cycle Cost' e 'Life Cost Assesment'.

L'approccio LCC consente di valutare correttamente il reale costo di un prodotto, non valutandolo solo come costo di approvvigionamento, ma aggiungendo ad esso anche tutta quella serie di costi (che vanno però attualizzati opportunamente) che devono essere sostenuti durante l'esercizio del sistema nel quale è inserito.

L'approccio LCA consente invece di valutare correttamente il costo, spesso non immediatamente evidente o evidenziabile, generato dall'impatto ambientale permettendo così alla comunità dei produttori di realizzare uno sviluppo sostenibile (anche dal punto di vista economico oltre che ambientale) e a quella dei consumatori-utilizzatori di valutare la sostenibilità economico-ambientale di un prodotto.

Attribuendo al termine ambientale una valenza allargata comprensiva non solo della natura che ci circonda ma anche dell'organismo umano, questo approccio assume una importanza enorme e sempre maggiore nel tempo: d'altronde quella che possiamo chiamare 'percezione ambientale' è ormai entrata a far parte di ogni aspetto della società civile.

Questi fattori sembrano giocare favorevolmente nelle possibilità di crescita degli acciai inossidabili che, come d'altronde anche la maggior parte degli acciai, possono essere considerati come i materiali a maggior riciclabilità, tanto che l'utilizzo di rottame è determinante e strategico nel processo produttivo degli acciai stessi.

Tuttavia lo sviluppo tecnologico, relativo sia all'ottimizzazione del ciclo produttivo sia al miglioramento delle prestazioni dell'acciaio, porta paradossalmente ad una diminuzione della intensità di impiego del materiale stesso.

Se associamo a questi effetti anche la competizione con altri materiali meno costosi o più performanti (significativo è il caso del settore automobilistico dove riduzione dei pesi e dei costi favorisce l'utilizzo di alluminio e plastica) e una diminuzione globale della crescita industriale, allora il mantenimento di una crescita della produzione degli acciai inossidabili può essere garantito o da una poco probabile continua crescita del Prodotto Interno Lordo a compensazione o da una innovazione tecnologico-scientifica che consenta di ampliare le possibilità di applicazione per costi (nell'accezione precedentemente discussa) più competitivi e prestazioni migliori o di spinte legislative che favoriscano materiali 'ecologici' perché a più favorevole impatto sulla vita del consumatore.

Due sono le possibilità per un nuovo prodotto di entrare nel mercato: fornire le stesse prestazioni ad un prezzo minore e fornire prestazioni notevolmente migliori ad un prezzo uguale o superiore, ove con 'prestazioni' non si intendono solo ritorni tecnologici ma anche estetici, di sicurezza e di accettabilità sociale.

Per gli acciai ad alto azoto, nelle loro numerosissime versioni, si possono applicare entrambe le possibilità, rispettivamente nel caso della sostituzione parziale del nichel con aggiunte però di Mn e nel caso dell'aggiunta di N, spesso insieme anche ad aggiunte di Mo, mantenendo il Ni.

Le attività di sviluppo in corso, anche se sono molte le nuove composizioni già commercializzate con tenori di azoto elevati (da 0,1 % fino e oltre a 1%), seguono varie strade e campi di applicazione, ma generalmente si pongono i seguenti traguardi: incrementare la resistenza meccanica di acciai inossidabili austenitici, incrementare la resistenza alla corrosione di acciai martensitici, inossidabili e non, incrementare la resistenza meccanica e alla corrosione di acciai per impieghi strutturali specifici e incrementare le caratteristiche di lavorabilità e di resistenza alla corrosione di acciai per lavorazione a freddo e a caldo (soprattutto per stampi).

In particolare per gli acciai Duplex, in forte e costante crescita nelle applicazioni industriali seppure ancora poco diffusi nonostante le loro potenzialità, esistono le possibilità di incrementare la stabilità della fase austenitica, la resistenza alla corrosione e la resistenza meccanica e di ridurre il costo per la diminuzione del contenuto di Ni (comunque molto più basso rispetto agli acciai inossidabili austenitici) grazie all'incremento del contenuto di azoto.

Il maggior problema legato alla presenza di elevati tenori di azoto, tanto maggiore quanto più elevata è la quantità di azoto da aggiungere all'acciaio, è sicuramente quello processistico: esso si scontra con aspetti termodinamici legati alla solubilità dell'azoto nelle varie matrici ferrose, sia allo stato liquido che in fase di solidificazione.

Perciò anche dallo sviluppo di processi fusori e/o di trasformazione termomeccanica dipende la conquista del mercato da parte degli acciai ad alto azoto.

Alcuni processi produttivi specifici per acciai ad alto azoto sono di seguito riportati: tutti operano in pressione di azoto.

- Utilizzo di siviere con elettrodo sottoscoria in pressione con setto poroso inferiore per il gorgogliamento di azoto con colaggio in lingottiera sempre in pressione;
- Sistema "Counter Pressure" con forno ad induzione in pressione e colaggio forzato contro gravità in una lingottiera posta sopra al forno e alimentata dal basso grazie alla differenza di pressione tra il forno e la camera nella quale essa è inserita;
- Rifusione ESR ("Electro Slag Remelting") in pressione (PESR) di azoto che consente sia di operare con elevate pressioni (industrialmente fino a 42 bar) che di aggiungere composti di azoto per incrementare il contenuto di azoto (generalmente nitrato di silicio in polvere)

Esistono tuttavia altri processi che utilizzano approcci diversi a quelli della pressione.

Interessante è sicuramente l'approccio utilizzato dalla tecnologia della "Metallurgia delle Polveri" che aggiunge azoto alla matrice non solo attraverso il bagno liquido, dunque per diffusione allo stato liquido, ma quando l'acciaio è in fase di solidificazione o già solido: in entrambi i casi il semiprodotto è rappresentato da polvere prodotta mediante gas atomizzazione.

Le potenzialità di applicazione degli acciai inossidabili ad alto azoto coprono ampi campi di applicazione degli acciai inossidabili: alcuni fattori, non solo economici, come quello del costo e quello della compatibilità col corpo umano, giocano sicuramente un ruolo fondamentale.

Ma è l'insieme di caratteristiche che dovrebbe rendere vincenti questi acciai in moltissimi settori, tra i quali i più interessanti e potenzialmente i più recettivi sono quelli dell'edilizia, dell'impiantistica, dei trasporti e dell'alimentare: la chiave di accesso, tuttavia, è sicuramente quella del costo., in affiancamento a proprietà specifiche di punta che l'alto tenore di azoto può consentire.

1. Il mercato degli acciai inossidabili

1.1 Generalità

Gli acciai inossidabili costituiscono, a livello mondiale, circa il 2% della produzione totale di acciaio, circa 19 milioni di tonnellate (dati estrapolati 2002) su quasi 800 milioni di tonnellate (in fig. 1 è riportata la situazione nel 2000).

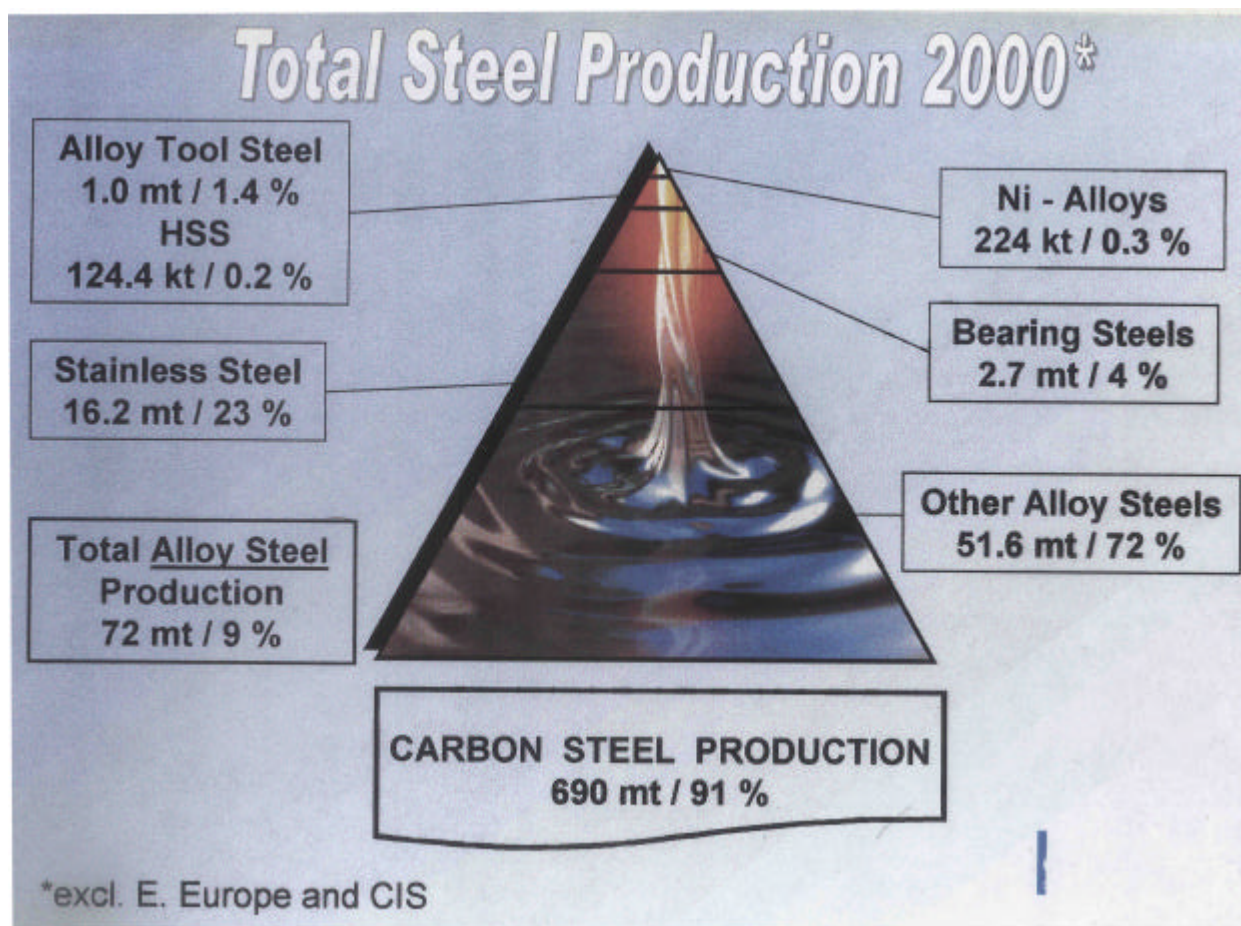


Fig.1 – Ripartizione della distribuzione di acciaio nel mondo nel 2000 (1)

Le caratteristiche di eccellente resistenza alla corrosione e alla ossidazione, di elevata resistenza meccanica ad alta temperatura, di elevata fabbricabilità e di elevata duttilità e tenacità, rendono questa famiglia di acciai molto versatile e facilmente impiegabile in moltissimi settori di mercato, nonostante in ognuno di essi debba competere, anche economicamente, con altri materiali.

Il costo più elevato rispetto agli acciai 'al carbonio' e ad altri materiali ne limita spesso l'impiego anche se più performanti; il loro costo è andato tuttavia decrescendo sensibilmente

negli anni se si pensa che rispetto ai primi anni settanta oggi il prezzo (deflazionato) di accesso al consumo è diminuito di circa 80 volte.

La produzione mondiale, pur diversificata nei vari paesi come settori di impiego, è in continua crescita, con velocità di crescita superiore a tutti gli altri materiali metallici e minore solo dei materiali plastici (con cui compete in varie applicazioni); per il futuro l'andamento in crescita è previsto mantenersi almeno ai livelli attuali (fig. 2).

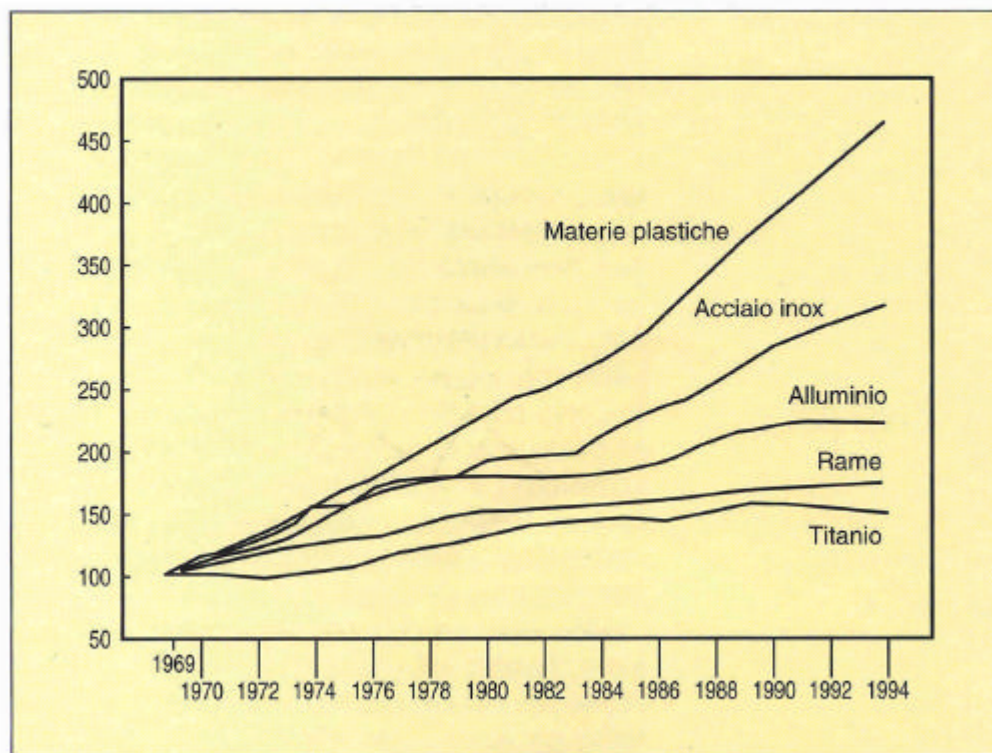


Fig. 2 – Andamento indicizzato della produzione di alcuni materiali negli ultimi 30 anni (2)

La intercambiabilità tra i vari materiali è sicuramente un elemento di incertezza che influenza il mercato dell'acciaio inossidabile e che condizionerà sicuramente gli sviluppi futuri: gli acciai inossidabili, per le loro caratteristiche di versatilità, competono nell'applicazione con molti materiali e leghe metallici, come gli acciai al carbonio verniciati e/o rivestiti, l'alluminio, il rame, vari acciai e leghe speciali e soprattutto in questi ultimi anni (e tanto più nel futuro) il titanio.

Il mercato italiano rappresenta uno dei mercati più interessanti e importanti in Europa come nel mondo (oggi si consuma il doppio di acciaio inossidabile rispetto a dieci anni fa ed il consumo procapite è uno dei maggiori al mondo), ma anche il settore produttivo risulta uno dei più interessanti, sia perché dal punto di vista tecnologico è sempre stato all'avanguardia sia perché è detenuto da un tessuto industriale, che se in termini di acciaierie è concentrato, relativamente ai trasformatori è variegato e frammentato.

Per quanto riguarda la suddivisione del mercato mondiale delle due principali famiglie di acciai inossidabili, il 75% dei prodotti sono di acciaio austenitico e il 25% di acciaio ferritico, con non trascurabili differenze nei vari paesi (per esempio nel Nord America e in Giappone il 40% dei prodotti sono in acciaio ferritico) (1).

Alcuni aspetti economici e di mercato devono tuttavia essere tenute in conto per evitare facili e ottimistiche previsioni sul futuro degli acciai inossidabili:

- andamento del mercato dell'industria militare (poco importante dal punto di vista quantitativo)
- andamento del mercato asiatico (soprattutto cinese)
- andamento del mercato paesi industrializzati (saturazione?)
- andamento del mercato del rottame (disponibilità)
- andamento del mercato del nichel (disponibilità e speculazioni sul prezzo)
- andamento del consumo
- situazione panorama produttivo in termini di riassetto grosse aziende produttive

Anche l'innovazione tecnologica gioca da sempre un ruolo determinante sugli sviluppi produttivi degli acciai inossidabili, principalmente nei seguenti campi:

- gestione materiali di carica e dei forni (ottimizzazione processo fusorio)
- colata continua (sottile e 'strip casting')
- laminazione a caldo ('endless' rolling e 'DRAP')
- laminazione a freddo (velocità di laminazione e riduzione per passata)
- automazione processo
- composizione

1.2 Considerazioni sui fattori tecnologici, economici e commerciali (3)

Nella analisi della cosiddetta 'catena di processo', definita come il ciclo di vita del prodotto che va, dunque, dalla sua produzione come materiale e/o semiprodotto, alla sua trasformazione in prodotto finito, alla sua commercializzazione (comprensiva di tutte le fasi intermedie) fino al suo utilizzo durante tutto il suo esercizio, concorrono oggi alcuni aspetti (oltre a quelli più ovvi come il prezzo di acquisto) fino a pochi anni fa poco rilevanti.

I due più importanti sono probabilmente i cosiddetti 'Life Cycle Cost' e il 'Life Cost Assesment'.

Il 'Life Cost Cycle' si riferisce al ciclo economico di vita del prodotto finito e dunque definisce in qualche modo il costo di un sistema riferendolo al suo intero ciclo di vita, relativo, cioè, all'arco di tempo nel quale il sistema è operativo assolvendo a tutte le sue funzioni in condizioni di sicurezza, oltre al quale il sistema diventa obsoleto e non più conveniente.

L'approccio LCC consente quindi di valutare correttamente il reale costo di un prodotto, non valutandolo solo come costo di approvvigionamento, ma aggiungendo ad esso anche tutta quella serie di costi (che vanno però attualizzati opportunamente) che devono essere sostenuti durante l'esercizio del sistema nel quale è inserito, inclusi i relativi costi per mancati funzionamenti.

Il 'Life Cost Assesment' si riferisce invece all'impatto ambientale di tutte le varie fasi di vita del prodotto con riferimento, dunque, al prima accennato concetto di 'catena di processo' (considerando dunque le fasi di estrazione e trasformazione delle materie prime, le fasi del processo siderurgico di fabbricazione e trasformazione, le fasi di lavorazione e assemblaggio nel sistema, le fasi di esercizio in opera, le fasi di distribuzione e di stoccaggio, fino alla fase di dismissione e di riciclaggio).

L'approccio LCA consente dunque di valutare correttamente il costo, spesso non immediatamente evidente o evidenziabile, generato dall'impatto ambientale permettendo così alla comunità dei produttori di realizzare uno sviluppo sostenibile (anche dal punto di vista economico oltre che ambientale) e a quella dei consumatori-utilizzatori di valutare la sostenibilità economico-ambientale di un prodotto.

Attribuendo al termine ambientale una valenza allargata comprensiva non solo della natura che ci circonda ma anche dell'organismo umano, questo approccio assume una importanza enorme e sempre maggiore nel tempo: d'altronde quella che possiamo chiamare 'percezione ambientale' è ormai entrata a far parte di ogni aspetto della società civile.

Se questi fattori sembrano giocare favorevolmente nelle possibilità di crescita degli acciai inossidabili che, come d'altronde anche la maggior parte degli acciai, possono essere considerati come i materiali a maggior riciclabilità, lo sviluppo tecnologico, invece, relativo sia all'ottimizzazione del ciclo produttivo sia al miglioramento delle prestazioni dell'acciaio, potrebbe portare paradossalmente ad una diminuzione della produzione .

Se associamo a questi effetti anche la competizione con altri materiali meno costosi o più performanti (significativo è il caso del settore automobilistico dove riduzione dei pesi e dei costi favorisce l'utilizzo di alluminio e plastica) e una diminuzione globale della crescita industriale, allora il mantenimento di una crescita della produzione degli acciai inossidabili può essere garantito o da una poco probabile crescita del Prodotto Interno Lordo a compensazione o da una innovazione tecnologico-scientifica che consenta di ampliare i campi di applicazione per costi (nell'accezione di cui precedentemente discusso) più competitivi e prestazioni migliori o da una maggiore accettabilità del prodotto (estetica-funzionale) o da spinte legislative verso maggiore sicurezza e durata.

1.3 Settori di mercato

Una prima idea dei principali settori di mercato nei quali è applicato l'acciaio inossidabile la può dare il grafico riportato in fig. 3 anche se relativo ai soli prodotti piani (mancano inoltre mercati importanti come quello cinese sui quali da poco tempo cominciano ad essere disponibili informazioni).

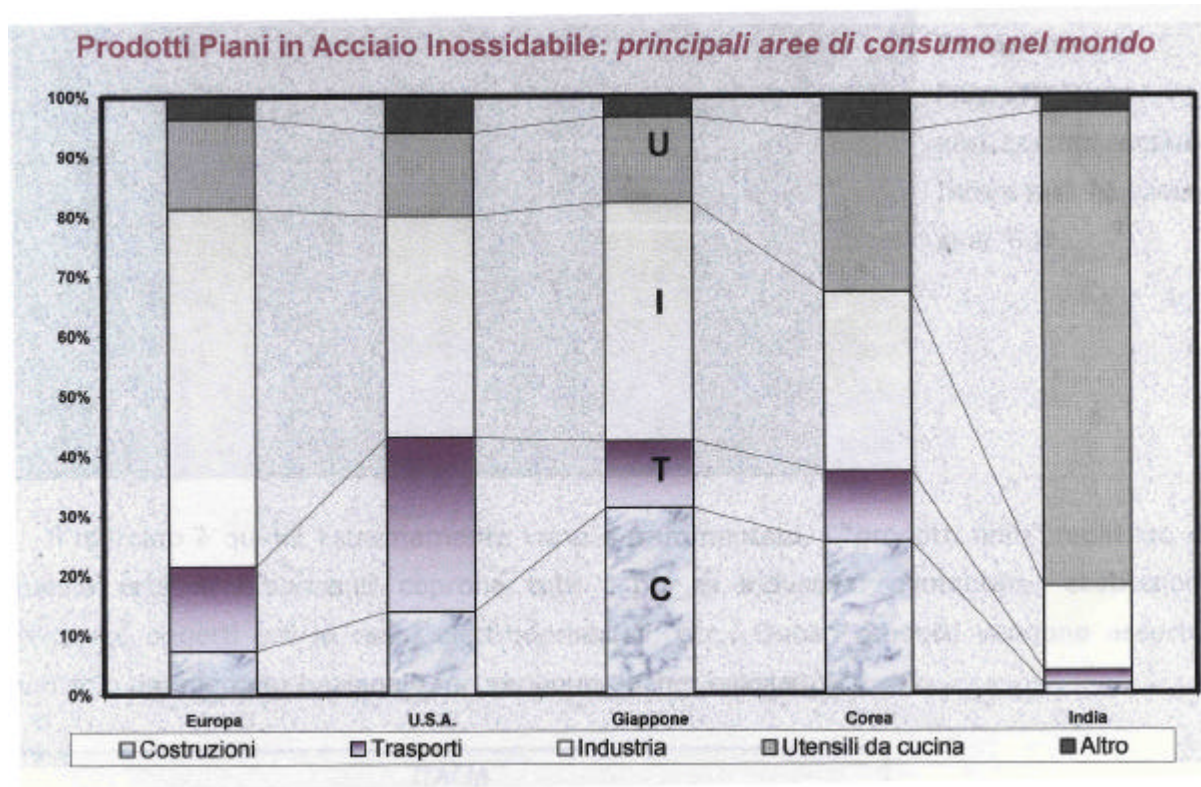


Fig. 3 – Principali aree di consumo nel mondo di prodotti piani divisi per tipologie (3)

Il mercato può significativamente suddividersi in cinque grossi settori:

- Impianti ed industria (chimica e petrolchimica)
- Auto e trasporti (principalmente marmitte catalitiche)
- Alimentare (industria alimentare, catering e utensili cucina)
- Elettrodomestici
- Edilizia e costruzioni (principalmente elementi per architettura e arredamento)

Nel primo settore di mercato è forte la competizione con materiali più costosi (per esempio il titanio o leghe speciali) e l'impiego è fortemente legato agli investimenti.

Negli altri settori è forte la competizione con materiali meno costosi (per esempio acciai verniciati o rivestiti) e l'impiego è spesso garantito dalla legislazione (vedi settore alimentare e automobilistico).

Un altro settore che, anche se in termini di volumi produttivi è poco significativo, ha tuttavia importanti implicazioni sociali è quello biomedicale e dei prodotti a diretto contatto con il corpo umano (per esempio casse e bracciali degli orologi) sul quale sono concentrati molti interessi.

Il panorama del consumo in Italia è riportato in fig. 4: si può notare come il mercato che ruota intorno al corpo umano (alimentare, catering e casalinghi) rappresenti una quota percentuale enorme (circa il 50%), sia in assoluto che rispetto ad altri interessanti settori come quello dei trasporti e dell'edilizia.

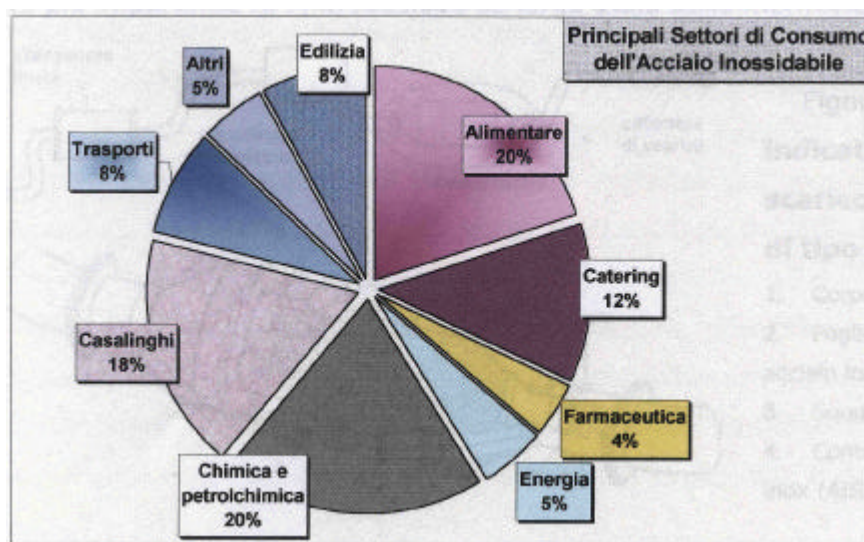


Fig. 4 – Principali settori di consumo dell'acciaio inossidabile in Italia (3)

Sia il settore dell'auto che quello dell'edilizia, in Italia come nel resto del mondo, costituiscono settori nei quali potenzialmente, e con un po' di innovazione, l'acciaio inossidabile potrebbe conquistare a pieno merito grosse fette di mercato.

In entrambi i settori, sia in alcuni casi per motivi di costo che in altri per le caratteristiche meccaniche, impieghi di tipo strutturale sono quasi del tutto assenti, nonostante l'elevata resistenza alla corrosione e l'elevata deformabilità attribuiscono agli acciai inossidabili soprattutto austenitici, enormi potenzialità applicative.

Parti del telaio e della carrozzeria delle automobili potrebbero essere realizzate in acciaio inossidabile (in alcuni casi per mezzi di trasporto collettivo questo già avviene): non c'è dubbio che tale possibilità è legata alla cooperazione stretta tra produttori di acciaio e costruttori di auto che può incentivare una innovazione (sia metallurgica da un lato che progettuale dall'altro) specifica per questo settore, in alternativa con quella relativa all'impiego dell'alluminio.

Nel settore edilizio, in Italia più che all'estero, è particolarmente sotto utilizzato: in questo caso i concetti precedentemente descritti quali gli LCC e LCA dimostrano che nella maggior parte dei casi il problema è legato ad una questione di 'mentalità' che tende a favorire l'immediato a tutto discapito del futuro.

Esiste sicuramente un problema legislativo che dovrebbe obbligare ad effettuare la valutazione dei costi, nelle gare di appalto, secondo modalità LCC e LCA: l'elevata resistenza alla corrosione atmosferica, soprattutto in zone industriali o in prossimità del mare, rende gli

acciai inossidabili estremamente vantaggiosi sia per strutture a vista che per armature, fra l'altro semplificando il progetto della costruzione e garantendo una maggior resistenza al fuoco.

Anche le grandi infrastrutture come ponti, edifici pubblici e arredo urbano potrebbero trarre sempre più profitto dall'impiego degli acciai inossidabili.

2. Gli acciai inossidabili ad alto azoto

2.1 Generalità sugli acciai ad alto azoto

Due sono le possibilità per un nuovo prodotto di entrare nel mercato: fornire le stesse prestazioni ad un prezzo minore e fornire prestazioni notevolmente migliori ad un prezzo uguale o superiore.

Per gli acciai ad alto azoto, nelle loro numerosissime versioni, si possono applicare entrambe le possibilità, rispettivamente nel caso della sostituzione parziale del nichel (dato che l'azoto promuove la stabilità dell'austenite) con aggiunte però di Mn e nel caso dell'aggiunta di N, spesso insieme anche ad aggiunte di Mo, mantenendo il Ni (come negli acciai superaustenitici).

In alcuni casi si raggiunge l'inaspettato, cioè quello di fornire prestazioni migliori ad un prezzo più basso.

Gli effetti positivi dell'azoto negli acciai sono noti da molti decenni e si sono concretizzati, in molti casi, anche in tempi lontani come la seconda guerra mondiale durante la quale la ricerca di una alternativa al nichel era strategica per alcuni paesi.

L'effetto positivo dell'azoto, dal punto di vista delle caratteristiche meccaniche, si realizza attraverso due modalità dipendentemente dalla matrice compositiva alla quale viene aggiunto: indurimento per soluzione solida (per la posizione interstiziale che assume nel reticolo cristallino) e indurimento per precipitazione di fasi come i nitruri (generalmente in sostituzione parziale dei carburi) che favoriscono anche l'evoluzione di strutture più fini.

L'effetto positivo dell'azoto, dal punto di vista corrosionistico, è sicuramente provato in molte condizioni in cui altri acciai, essenzialmente di tipo inossidabile, rivelano punti di debolezza (pittino in presenza di cloruri); anche in questo caso spesso la sostituzione parziale di carburi a bordo grano con nitruri gioca un ruolo fondamentale, ma ancora molti meccanismi devono essere compresi.

Le attività di sviluppo in corso, anche se sono molte le nuove composizioni già commercializzate con tenori di azoto elevati (si va da 0,1 % fino e oltre a 1%), seguono varie strade e campi di applicazione, ma generalmente si pongono i seguenti traguardi: incrementare la resistenza meccanica di acciai inossidabili austenitici, incrementare la resistenza alla corrosione di acciai martensitici, inossidabili e non, incrementare la resistenza meccanica e alla corrosione di acciai per impieghi strutturali specifici e incrementare le caratteristiche di lavorabilità e di resistenza alla corrosione di acciai per lavorazione a freddo e a caldo (soprattutto per stampi).

Il maggior problema legato alla presenza di elevati tenori di azoto, tanto maggiore quanto più elevata è la quantità di azoto da aggiungere all'acciaio, è sicuramente quello processistico, che si scontra con aspetti termodinamici legati alla solubilità dell'azoto nelle varie matrici ferrose, sia allo stato liquido che in fase di solidificazione: anche dallo sviluppo di processi fusori e/o di trasformazione termomeccanica dipende la conquista del mercato da parte degli acciai ad alto azoto.

2.2 L'alto azoto negli acciai inossidabili

Gli acciai inossidabili rappresentano una delle maggiori famiglie di acciai oggetto di sviluppo relativamente al contenuto di azoto, sia nelle versioni austenitiche che in quelle martensitiche.

Si può sicuramente affermare che uno dei risultati dell'aggiunta di azoto a queste due tipologie di acciaio inossidabile è quello di avvicinare le loro prestazioni, da un lato incrementandone la bassa resistenza meccanica (austenitici) e dall'altro migliorandone la relativamente bassa resistenza alla corrosione (martensitici).

In realtà gli effetti positivi non si limitano a quelli appena accennati e, come vedremo di seguito, sono vari e spesso anche inaspettati.

2.2.1 Gli acciai inossidabili austenitici

Negli acciai a matrice austenitica possono essere ottenuti i seguenti vantaggi, spesso contemporaneamente:

- diminuzione del contenuto di nichel
- incremento del contenuto di Cr (che aumenta anche la solubilità dell'azoto, come Mn e Mo)
- diminuzione del contenuto di C
- incremento della stabilità della fase austenitica
- incremento delle resistenza alla corrosione (in particolare al pitting, alla tensocorrosione e alla corrosione intergranulare)
- forte incremento della resistenza meccanica (senza penalizzare la duttilità)
- maggior predisposizione allo 'stress hardening'

L'effetto indurente dell'azoto è dovuto alla sua posizione interstiziale nel reticolo cristallino della fase austenitica nella quale si trova in soluzione solida, ma anche alla riduzione della energia di stacking fault; in alcuni casi è presente anche un indurimento per precipitazione di fasi ricche in azoto.

Tale effetto può essere stimato attraverso formule empiriche come quella di Diener (4)

$$R_{p0,2} = 68 + 492 N + 354 C + 26 Ti + 20 Si + 18 V + 14 Mo + 14 Nb + 12 Al + 4,4 W + 7 D^{-1/2}$$

L'effetto stabilizzante sull'austenite, vedi formula sotto riportata (NE = Nichel Equivalent) (5), riduce la formazione di fasi intermetalliche tipo sigma tanto quanto quella di martensite nei processi termomeccanici:

$$NE = \%Ni + 30 \%C + 25 \%N + 0,5 \%Mn + 0,3 \%Cu$$

L'effetto positivo sulla resistenza alla corrosione non è ancora del tutto chiaro: esso è legato spesso all'effetto ritardante dell'azoto sulla formazione di carburi (dato che l'azoto tende a mantenere il carbonio in soluzione) e/o fasi intermetalliche a bordo grano ma è anche dimostrato che esiste un effetto sinergico con la presenza di Mo.

Per la stima della resistenza al pitting viene usualmente utilizzata la formula empirica di seguito riportata (Pitting Resistance Equivalent Number) (5):

$$PREN = \% Cr + 3,3 \%Mo + 16 \%N$$

La parziale sostituzione del nichel con azoto e manganese è stata effettuata già in tempi non recenti (durante la seconda guerra mondiale da tedeschi e francesi) ed esistono prodotti commerciali da tempo come la serie 200, molto comuni in America e meno in Europa (l'India ne è il maggior produttore mondiale con 500.000 t/anno), con contenuti di Ni inferiori al 6% e contenuto di Mn fino al 15% e di N fino allo 0,3%.

Anche molti acciai della serie 300 esistono nella versione con azoto maggiorato, anche se in piccole percentuali (< 0,15%), per applicazioni strutturali come carrozze ferroviarie e telai di bus.

Nel settore della generazione di energia lo sviluppo di due acciai ad elevato contenuto di azoto e praticamente senza Ni (ma con la presenza di elevati contenuti di Mn), ha consentito di utilizzare condizioni di esercizio più gravose per gli anelli di tenuta nei turbogeneratori (incremento della temperatura) e di abbassarne i costi di manutenzione (evitando la tendenza alla magnetizzazione e migliorandone la resistenza alla tensocorrosione e al pitting).

I due acciai sono il P900 e il successivo P2000 (a minor contenuto di C e Cr ma con la presenza di Mo) (6): in questi due acciai il contenuto di azoto è di circa 0,9% e il carico di snervamento rispettivamente di 1300 MPa e di 1600 MPa.

Questi due acciai sono fabbricabili esclusivamente mediante rifusione ESR in pressione di azoto.

In molte differenti applicazioni in cui sono richieste contemporaneamente elevata resistenza meccanica, all'usura e alla corrosione ma anche buona deformabilità e saldabilità, il recente marchio CROMANITE dalla semplice composizione contenente 19% di Cr, 10% di Mn e 0,05 di C con 0,5 di azoto (dunque senza nichel) sta riscontrando un notevole successo in mercati come quello della estrazione, movimentazione e stoccaggio materie prime, dei trasporti e dell'alimentare (7).

Un altro significativo esempio, per un mercato meno voluminoso ma sicuramente importante come quello biomedicale, è costituito dall'acciaio Bohler P558, prodotto per rifusione ESR in pressione di azoto, che ha una elevata resistenza al pitting e proprietà meccaniche resistenziali seconde solo alle leghe di Co utilizzate nello stesso settore biomedicale, ma con una duttilità, rispetto a queste, decisamente migliore, soprattutto allo stato ricotto; dopo opportuna deformazione a freddo il carico a rottura di questo acciaio è di 2000 MPa (8).

Il contenuto di azoto del Bohler P558 è di circa 0,6% e quello di C è di circa 0,3% (che nello stato di ricotto è principalmente in soluzione).

Gli acciai inossidabili superaustenitici (9)

La presenza elevata di azoto è tipica anche dei più recenti acciai inossidabili superaustenitici, ad elevato contenuto di Ni e fortemente legati: in essi è quasi sempre presente Mo in tenori fino al 7%, molto spesso anche Cu in tenori fino al 2% e nei più recenti, per aumentare la solubilità dell'azoto, anche Mn in tenori fino al 10%: negli acciai superaustenitici più recenti l'azoto è contenuto nell'intervallo 0,2 – 0,5 % (fig. 5).

Lega	C _{max}	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	N	Altri	PRE	EN	UNS	Marchio commerciale
304	0.08		18	9					18	1.4301	S30400	
316L	0.03		17	12	2				24	1.4404	S31603	
Lega 20	0.05		20	30	2.5	3.5			32	–	–	
20 Cb-3	0.06		20	34	2.5	3.5		Nb, Ta	32	–	N08020	Carpenter Technology
B6, 904L	0.02		20	25	4.5	1.5			35	1.4539	N08904	
Sanicro 28	0.02		27	31	3.5	1			39	1.4563	N08028	Sandvik
NSCD	0.03		17	16	5.5	2.5			35	–	–	Ugine
AL-6X	0.03		20	25	6				40	–	N08366	Allegheny Ludlum
AL-6XN	0.03		20.5	24	6.3		0.22		45	–	N08367	Allegheny Ludlum
1.4439	0.03		17	14	4		0.15		33	1.4439	S31726	
2RE69	0.02		25	22	2		0.12		37	1.4466	S31050	Sandvik
ASN 7W	0.04		18	16	7	2	0.15		43	–	–	Böhler
VEW 963	0.03		17	16	6.3	1.6	0.15		40	–	–	VEW
Antinit 3974	0.03	6	23	17	3		0.40	0.2Nb	39	–	–	Thyssen
254 SMO	0.02		20	18	6.1	0.7	0.2		43	1.4547	S31254	Avesta Sheffield
1925hMo	0.02		20	25	6.2	0.7	0.2		44	1.4529	N08925	VDM
SX	0.02		17.5	20	1	2		5 Si	21	–	S32615	Sandvik
Lega 31	0.02		27	31	6.5	1.2	0.2		52	1.4562	N08031	VDM
934LN	0.02	10	20	15	4.5		0.40		41	–	–	
1.4565	0.03	6	24	18	4.5		0.4		45	1.4565	S34565	
654 SMO	0.02	3	24	22	7.3	0.5	0.5		56	1.4652	S32654	Avesta Sheffield

Fig. 5 – Principali acciai superaustenitici sviluppati nel corso degli anni

Due esempi significativi sono i due acciai della Avesta, il 254 SMO e il 654 SMO, le cui caratteristiche, specialmente del secondo, conferiscono a questi acciai prestazioni corrosive molto vicine a quelle delle leghe base nichel: il 654 SMO fornisce in molti casi, in ambiente marino e nella componentistica per inceneritori, prestazioni corrosive addirittura migliori di alcune leghe base Ni di riferimento (IN625 e C276).

Entrambi possono essere fabbricati utilizzando processi convenzionali (per es: AOD + colata continua).

2.2.2 Gli acciai inossidabili martensitici

Per applicazioni in cui la resistenza meccanica e all'usura è prevalente, le gradazioni martensitiche vengono preferite a quelle austenitiche: anche in questo caso, se pur in maniera minore, l'utilizzo di elevati contenuti di azoto si presenta vantaggioso.

L'acciaio per cuscinetti CRONIDUR 30 (15% Cr, 1% Mo, 0,3% C e 0,4% N) è un esempio decisamente significativo delle potenzialità di sviluppo che l'azoto consente: esso possiede una resistenza alla corrosione 100 volte superiore all'acciaio AISI 440C (17% di Cr e 1% di C) e una durata in esercizio 5 volte superiore all'acciaio M50 (10).

Le ottime caratteristiche tribologiche e corrosionistiche (relativamente al suo campo di utilizzo) di tale acciaio sono in gran parte legate alla microstruttura estremamente fine in cui la presenza disomogenea di carburi grossolani (allineati lungo i bordi grano) è sostituita da quella di carbo-nitruri estremamente fini e distribuiti omogeneamente nella matrice.

In casa Bohler (8) l'azoto viene aggiunto per migliorare le prestazioni di acciai martensitici in vari campi di applicazione: negli acciai con 13% di Cr, utilizzati per stampi per il vetro, l'azoto incrementa la durezza e la lucidabilità; negli acciai al 15% di Cr, per cuscinetti e per lavorazioni a freddo, l'azoto incrementa la resistenza all'usura e alla corrosione; negli acciai al 17% di Cr, utilizzati in molta componentistica di processo nella fabbricazione della plastica, la presenza di N, anche a discapito del carbonio, consente una maggiore resistenza alla corrosione.

In alcuni casi è stato tuttavia riscontrato che un'eccessiva presenza di azoto, se non bilanciata con il contenuto di C e Cr, può depauperare la matrice dalla presenza di Cr diminuendone la resistenza alla corrosione pur aumentando la resistenza meccanica dell'acciaio (formazione eccessiva di nitruri).

2.3 L'alto azoto negli acciai duplex

Gli acciai Duplex rappresentano non solo una alternativa economica agli acciai inossidabili austenitici in molte applicazioni ma, soprattutto, nei casi in cui è richiesta una elevata resistenza meccanica e alla tensocorrosione, diventano quasi una necessità: questa loro caratteristica è garantita dalla presenza contemporanea sia di austenite che di ferrite (generalmente in uguale proporzione).

Questi acciai (fig. 7) hanno un contenuto di Cr intorno al 22-23% nelle prime gradazioni sviluppate e intorno al 25% nelle gradazioni più recenti (SuperDuplex) nelle quali il contenuto di Mo è 3-4%, di Ni 7-8% e di N 0,2-0,3% (spesso sono presenti Cu e/o W in basse concentrazioni) (11).

DESIGNAZIONE EUROPEA E STATUNITENSE	Cr	Ni	Mo	N	Altri	PREN
X2CrNi 23-4 - EN 1.4362	22÷24	3,5÷5,5	0,1÷0,6	0,05÷0,2	Cu: 0,1÷0,6	25
X2CrNiMoN 22-5-3 EN 1.4462	21÷23	4,5÷6,5	2,5÷3,5	0,1÷0,22	-	32÷34
X2CrNiMoCuN 25-6-3 - EN 1.4507	24÷26	5,5÷7,5	2,7÷4	0,15÷0,3	Cu: 1÷2,5	
X2CrNiMoN 25-7-4 - EN 1.4410	24÷26	6÷8	3÷4,5	0,2÷0,35	-	>40
X2CrNiMoCuWN 25-7-4 - EN 1.4501	24÷26	6÷8	3,4	0,2÷0,3	Cu: 0,5÷1 W: 0,5÷1	

Fig. 6 – Principali acciai Duplex e Superduplex (11)

I settori di maggior applicazione sono l'industria della carta, l'industria chimica e petrolchimica, l'industria alimentare e quella dell'offshore: in quasi tutte le applicazioni in presenza di acqua marina competono con gli acciai superaustenitici, rispetto ai quali sono però molto più economici e dotati di maggiori proprietà meccaniche.

Anche per questa famiglia di acciai, che sta sostituendo nel settore della chimica di processo molti acciai austenitici ma ancora poco diffusa nonostante le sue potenzialità, le possibilità di incrementare la stabilità della fase austenitica, la resistenza alla corrosione e la resistenza meccanica e di ridurre il costo per la diminuzione del contenuto di Ni (comunque molto più basso rispetto agli acciai inossidabili austenitici) grazie all'incremento del contenuto di azoto sono notevoli.

Un effetto importante dell'azoto è quello di mantenere anche nelle zone saldate una adeguata percentuale di fase austenitica così da mantenere il rapporto desiderato con la fase austenitica (50-50).

La presenza di elevati contenuti di N può però presentare maggiori problemi che non negli acciai a matrice austenitica in quanto questi acciai solidificano in matrice ferritica (generando quel circa 50% di austenite durante il raffreddamento del solido): possono pertanto generarsi segregazioni di N molto elevate per la bassa solubilità che questo ha nella ferrite, tanto da provocare la formazione di nitruri, indesiderati anche perché depaupererebbero la matrice austenitica di azoto.

La presenza di Mn si rivela perciò anche in questo caso quanto mai necessaria.

Un esempio di sviluppo di un nuovo acciaio duplex senza Ni e con azoto è quello del RelyNite (21% Cr, 7% Mn, 0,07%C e 0,35 N), utilizzato in parti strutturali nelle miniere Sud Africane sottoforma di tubi centrifugati e in sostituzione di acciai al 5% di Nichel troppo costosi sia per la presenza del Ni che per la necessità di trattamento termico per il raggiungimento di adeguate caratteristiche meccaniche (5).

2.4 Processi produttivi

Il problema principale degli acciai ad alto azoto, che ne limita fortemente sia la possibilità di sviluppo ulteriore che l'impiego attuale, è la difficoltà di fabbricazione legata sia al

raggiungimento e al mantenimento dell'azoto nel bagno liquido sia al limite di solubilità dell'azoto nella fase solida, spesso superato nelle composizioni sviluppate

Ciò può portare durante la solidificazione a precipitazione di azoto molecolare in forma di bolle o di fasi contenenti azoto (principalmente nitruri): nel primo caso si genera uno stato difettologico inaccettabile e nel secondo caso si genera una diminuzione della fase austenitica (negli acciai nei quali essa è e deve essere presente) e la presenza di fasi secondarie in quantità indesiderata.

Mentre per aumentare la solubilità dell'azoto nel liquido un opportuno bilanciamento della composizione (Cr, Mn e Mo aumentano la solubilità dell'azoto) spesso garantisce il risultato insieme ad una corretta scelta della temperatura (di solito più vicina possibile a quella di liquidus), per evitare la precipitazione di azoto durante la solidificazione la soluzione è più complessa.

La pressione parziale di azoto nell'atmosfera a contatto con il fuso in fase di solidificazione gioca un ruolo fondamentale perché determina la modalità di solidificazione: un suo incremento sposta la solidificazione da ferritica ad austenitica così evitando la segregazione di azoto nella fase liquida interdendritica (12).

Nei processi produttivi il mantenimento di una elevata pressione parziale di azoto in fase di solidificazione può essere garantita utilizzando differenti tecnologie, di seguito riportate.

- Utilizzo di siviere con elettrodo sottoscoria in pressione con setto poroso inferiore per il gorgogliamento di azoto con colaggio in lingottiera sempre in pressione;
- Sistema "Counter Pressure" con forno ad induzione in pressione e colaggio forzato contro gravità in una lingottiera posta sopra al forno e alimentata dal basso grazie alla differenza di pressione tra il forno e la camera nella quale essa è inserita;
- Rifusione ESR ("Electro Slag Remelting") in pressione (PESR) di azoto che consente sia di operare con elevate pressioni (industrialmente fino a 42 bar) che di aggiungere composti di azoto per incrementare il contenuto di azoto (generalmente nitruro di silicio in polvere)

Esistono tuttavia altri processi che utilizzano approcci diversi a quelli della pressione.

Interessante è sicuramente l'approccio utilizzato dalla tecnologia della "Metallurgia delle Polveri" che aggiunge azoto alla matrice non attraverso il bagno liquido, dunque per diffusione allo stato liquido, ma quando l'acciaio è in fase di solidificazione o già solido: in entrambi i casi il semiprodotto è rappresentato da polvere prodotta mediante gas atomizzazione.

Nel primo caso la gas atomizzazione viene effettuata utilizzando un forno ad induzione in atmosfera di azoto e atomizzando l'acciaio liquido con azoto ad elevata pressione, così producendo polvere di acciaio ad elevato contenuto di azoto (13).

Nel secondo caso polvere atomizzata come nel primo caso ma con condizioni meno 'nitrogenanti' viene sottoposta a trattamento termico in bassa pressione di azoto, così da incrementarne il contenuto di azoto (14).

La polvere prodotta con le due tecniche descritte viene successivamente consolidata con processi di sinterizzazione termomeccanica come l'estrusione ad elevata temperatura, la Pressatura Isostatica ad elevata temperatura e la Iniezione in stampo metallico di una miscela di polvere con legante, per ottenere o un semiprodotto (billetta) o un componente a forma finita.

Il grosso vantaggio offerto dalla Metallurgia delle Polveri consiste nell'elevata omogeneità e finezza microstrutturale e assenza di segregazione (con elevata efficienza dell'eventuale trattamento termico finale nella dissoluzione degli eventuali nitruri formati).

Lo sviluppo e l'ottimizzazione di tutti questi processi descritti può contribuire in maniera decisiva alla diffusione e allo sviluppo di acciai ad alto azoto, ma è anche vero che alcuni di questi acciai sono producibili e prodotti con processi convenzionali condotti in condizioni adeguate alle necessità descritte e funzione della composizione: la possibilità di utilizzare processi 'convenzionali' come la colata continua, in tutte nelle sue varie versioni (bramma spessa, sottile e 'strip') rappresenta un traguardo comunque irrinunciabile, dato che ormai le prospettive produttive di tutti quei prodotti da lamiera sono orientate verso tale tecnologia che consente un notevole risparmio di costi.

Processi come la rifusione sotto scoria in pressione o quelli da metallurgia delle polveri possono sicuramente soddisfare mercati importanti ma dai volumi produttivi limitati e in grado di accettare prezzi elevati.

2.5 Potenzialità di applicazione e settori di mercato

Da questa 'ermetica' descrizione dello stato dell'arte sugli acciai inossidabili ad alto contenuto di azoto, che inevitabilmente non ha potuto evitare di affrontare aspetti metallurgici e processistici, si comprende comunque che le potenzialità di applicazione di questi acciai coprono molti campi di applicazione degli acciai inossidabili.

Si vogliono qui riassumere i principali vantaggi che la presenza di un elevato contenuto di azoto (tra 0,1% e 1%) consente di ottenere, sottolineando che spesso l'uno non esclude l'altro:

- 1 sostituzione o riduzione del contenuto di nichel (con possibile incremento delle prestazioni)
- 2 incremento delle caratteristiche meccaniche, resistenziali e di duttilità
- 3 incremento della resistenza a corrosione, in particolare alla tenso-corrosione, al pitting e alla corrosione intergranulare
- 4 incremento della resistenza all'usura
- 5 incremento della lavorabilità
- 6 incremento dell'indurimento da deformazione
- 7 incremento della stabilità della fase austenitica
- 8 microstruttura più fine ed omogenea

Relativamente al primo punto sono in gioco due grossi fattori, sui quali la discussione da parte del mondo della ricerca e della produzione è sostenuta, perché le opinioni sulla convenienza di questa sostituzione non sono unanimi.

Costo e disponibilità

Il primo fattore è ovviamente quello del costo: non c'è dubbio che l'aggiunta anche del 1% di azoto, in termini di materiale, costi meno dell'aggiunta di qualsiasi tipico contenuto di nichel (a parità di struttura metallurgica), ma sono ancora da stimare i costi aggiuntivi di processo, data la

difficoltà a caricare il bagno liquido di azoto e soprattutto la difficoltà a mantenerlo in matrice durante la solidificazione.

I costi di processo possono poi essere molto differenti tra loro in funzione del tipo di processo produttivo: per esempio la produzione di un acciaio tramite rifusione ESR è sicuramente non comparabile con quella di una colata continua da AOD, tenendo anche conto che il processo ESR costituisce una seconda rifusione, con carica, solida e rifinita, proveniente da forno ad induzione o da AOD, e che non è un processo continuo.

Al fattore costo sono sicuramente legati altri aspetti altrettanto importanti, quali la disponibilità di nichel a livello mondiale, sia in termini di risorse che di riserve: oltre ai tradizionali giacimenti in Africa e in Asia, negli ultimi anni sono stati scoperti e resi operativi giacimenti in paesi con maggiori garanzie di stabilità come l'Australia, la Finlandia, la Russia e il Canada e inoltre è ormai verificato che esistono risorse anche sottomarine (2).

Si può dunque affermare che anche a lungo termine non esistono rischi di mancanza di disponibilità e di forti oscillazioni nei prezzi di mercato.

Al di là di possibili speculazioni finanziarie l'andamento alternante del prezzo del Nichel negli ultimi 15 anni ha subito repentini aumenti sporadici non trascurabili solo in alcuni anni e comunque inferiori a quelli verificatesi per il Cr e per il Mo (15).

Inoltre il consumo di materie prime nella produzione degli acciai inossidabili è abbastanza contenuto dato che i processi produttivi relativi fanno ampio utilizzo di rottame proveniente dagli stessi acciai inossidabili (20-60% generalmente equidiviso tra rottame interno ed esterno alla acciaieria), da acciai al carbonio (20-40%), da altre leghe (5-10%): rimane dunque un 10-20% di carica di metallo vergine da suddividere tra Ni, Cr e Mo a compensazione del rottame al Carbonio (4).

A proposito del rottame è da sottolineare che il continuo trend di crescita della produzione globale di acciaio inossidabile (4-5% anno) rischia di mettere in crisi la disponibilità di rottame inossidabile).

Compatibilità biologica

Relativamente alla compatibilità del Ni e delle sue leghe col corpo umano le informazioni e i dati disponibili sono sicuramente numerosi, ma sicuramente la loro (modalità di) distribuzione sconta interessi e allarmismi provenienti da parti con interessi opposti.

Leghe e acciai contenenti Ni sono utilizzati in moltissime applicazioni in cui sono a contatto con diverse parti del corpo umano: leghe dentali, protesi, body-piercing, orologi, bigiotteria e accessori di moda.

I ben noti fenomeni allergici (dermatiti ctanee) sono legati al rilascio di Nichel in forma di ioni, per corrosione con il sudore e non sono generalizzabili e riconducibili ad ogni sorta di contatto col corpo umano: è questo il motivo per cui il contatto di leghe e acciai contenenti Ni con la saliva in applicazioni dentali o con parti interne del corpo come avviene nelle protesi ossee è statisticamente ben meno rischioso che non il contatto che avviene con l'epidermide per esempio nel piercing e nell'accessoristica come gli orologi e la bigiotteria (fig.7).

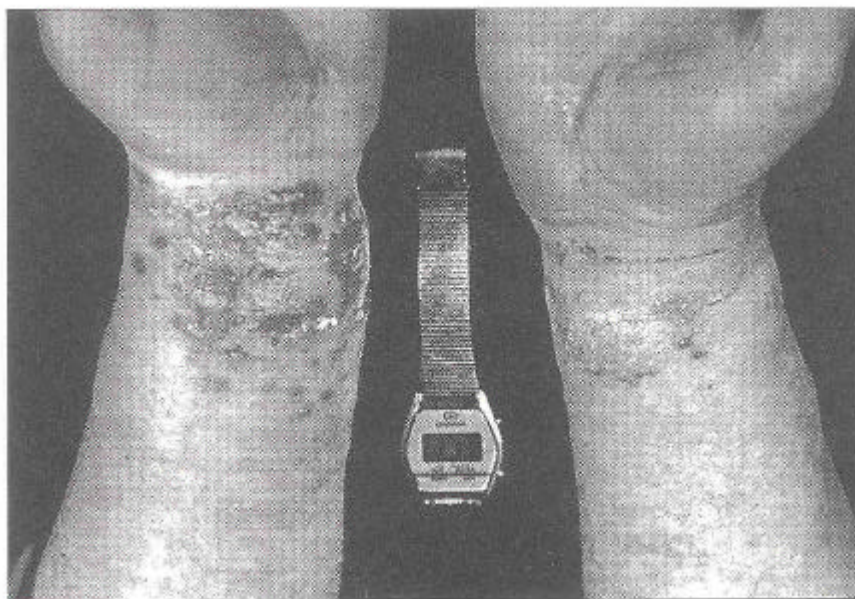


Fig.7 – Reazione allergica dovuta al contatto con un cinturino di acciaio inox (16)

Quantificare gli effetti delle allergie da contatto col Ni è probabilmente cosa non facile, seppure ormai il fenomeno sia ben documentato e compreso, ma comunque non sono sottovalutabili: l'attuale legislazione europea, che regola l'esposizione del corpo umano agli ioni nichel, oggi pone maggior attenzione odierna alla tutela dei consumatori indicando il valore massimo di cessione di Ni in oggetti posti in vendita.

In prospettiva ha dunque senso pensare di ridurre il nichel in quegli acciai utilizzati a contatto col corpo umano perché comunque ciò comporta vantaggi senza alcuna controindicazione.

Relativamente ai vantaggi precedentemente elencati si riportano alcune considerazioni su quei settori di mercato per i quali l'utilizzo di acciai ad elevato contenuto di N potrebbe ampliarne l'utilizzo.

Edilizia e architettura: elementi strutturali ed elementi estetici (fattori 1, 2 e 3)

In questi settori tre sono i fattori determinanti: il contenimento dei costi e, particolarmente per il primo, le caratteristiche meccaniche e corrosionistiche.

Nel settore del cemento armato l'utilizzo dell'acciaio inossidabile è ancora minimo seppure in crescita e, come accennato all'inizio, ciò è dovuto essenzialmente ad una certa superficialità nella valutazione del rapporto costi/benefici (vedi il concetto di Life Cycle Cost di cui si è accennato all'inizio): si ricorda che a questo proposito la recente legislazione obbliga a considerare nel costo di un'opera anche i costi di manutenzione.

Il minor costo, in termini di materie prime, degli acciai inossidabili nei quali l'azoto sostituisce anche parzialmente il nichel sicuramente costituirebbe un fattore potenzialmente favorevole all'apertura da parte dei costruttori all'utilizzo degli acciai inossidabili sia nelle

strutture che negli elementi architettonici, qualora i costi di produzione e trasformazione fossero ottimizzati.

Deve essere poi considerato che soprattutto nei casi in cui l'ambiente circostante (marino e in presenza di sali antighiaccio) causa un rapido danneggiamento delle strutture in cemento armato (a causa degli effetti distruttivi che la corrosione del tondino in ferro ha sul cemento) l'utilizzo di acciai con elevata resistenza alla corrosione è particolarmente vantaggiosa.

In fig. 8 è riportato un esempio 'lungimirante' di utilizzo di tondino in acciaio inox AISI 304 in un ponte sul mare in Messico costruito ben 40 anni fa a confronto con un pontile adiacente realizzato con tondino tradizionale 'solo' 30 anni fa e già distrutto dalla severità ambientale (17).



Fig.8 – Ponte costruito con cemento armato con tondino inox a confronto con pontile costruito con cemento armato tradizionale: il ponte è stato realizzato dieci anni prima del pontile

Gli ulteriori vantaggi che gli acciai ad alto azoto presentano in termini di resistenza al pitting e in generale in ambienti clorurati sembrano rappresentare dunque prerogative fondamentali per una loro scelta in sostituzione dei tipi tradizionali come gli AISI 304 e 316.

Anche la loro caratteristica di non magneticità rappresenta una dote importante soprattutto quando la riduzione dei campi magnetici diventa un requisito importante (bioedilizia).

Stampistica (fattori 3, 4, 5 e 8)

Nel campo dello stampistica, in particolare per lo stampaggio della plastica e per la formatura del vetro, l'elevato contenuto di N ben si sposa con la tecnologia ESR, sia perché con essa è possibile caricare la matrice con azoto sia perché essa comunque genera strutture molto fini ed omogenee: il tutto si traduce con una serie di vantaggi come migliore lavorabilità e lucidabilità, maggiore resistenza all'usura e maggiore resistenza alla corrosione.

Questo settore si propone come quello più immediatamente ricettivo soprattutto perché già da tempo 'usufruisce' della tecnologia ESR per le sue caratteristiche che esaltano le proprietà dei materiali.

Industria alimentare

Valgono per questo settore, a cui ci si riferisce nel termine più ampio del suo significato (impacchettamento, stoccaggio, catering e utensili da cucina) sia l'aspetto costo che quello della compatibilità biologica.

La maggior resistenza alla corrosione rappresenta un elemento in più per l'utilizzo alimentare: si tenga conto che in India la serie 200 (con Mn e N) è utilizzata per la fabbricazione di utensili da cucina e rappresenta la maggiore applicazione locale in termini di consumo di acciaio inossidabile, anche a causa dei costi doganali di importazione che gravano sul Ni

Impiantistica (tutti i fattori)

Tutta l'impiantistica industriale, dalla generazione di energia a produzione della carta, dalla chimica alla petrolchimica, può usufruire vantaggiosamente delle caratteristiche degli acciai inossidabili ad alto azoto: il costo rappresenta il parametro fondamentale a cui contribuiscono pesantemente sia l'incremento delle prestazioni meccaniche (spessori ridotti) che di quelle corrosionistiche (minori costi di manutenzione) quando confrontate con soluzioni tradizionali a costo minore (acciai verniciati o zincati).

L'utilizzo di acqua marina e/o la vicinanza spesso alle coste rappresenta una condizione al contorno decisamente favorevole al loro utilizzo.

Trasporti (fattori 1, 2, 3 e 5)

Anche in questo caso sia il settore dell'automobile come quello del trasporto di materiali, sono estremamente sensibili al fattore costo al quale contribuiscono, come nel caso precedente e per gli stessi motivi, anche l'incremento delle caratteristiche meccaniche e corrosionistiche.

Le maggiori caratteristiche resistenziali degli acciai inossidabili ad alto azoto contribuirebbero anche favorevolmente alla diminuzione di peso, aspetto decisamente vincente in questo settore.

Si sottolinea che in questo settore e prevalentemente in quello dell'auto sono comunque ancora poco utilizzati in ambito strutturale tutti gli acciai inossidabili, sia per il problema del costo sia per la loro modesta resistenza meccanica rispetto agli acciai altoresistenziali: si può pertanto ritenere che proprio questi fattori, in cui gli acciai inossidabili ad alto azoto sono vincenti, possano rappresentare una chiave di accesso a questo settore.

BIBLIOGRAFIA

1. Dispense 'Acciaio Inossidabile' Steel Master 2002 – A. Tamba
2. “Acciai inossidabili: prospettive per gli anni 2000”, J. P. Schade – L'acciaio inossidabile N.4 anno 1996
3. “L'acciaio inossidabile: un materiale per il terzo millennio”, S. Ricci - Tesi 'Steel Master 2000'
4. “Stabilità microstrutturale di un nuovo materiale di apporto ricco in azoto per la saldatura di acciai inossidabili superduplex”, A. Gregari, J. O. Nilsson – L'acciaio inossidabile N.1 anno 2000
5. “New low nickel, nitrogen containing duplex stainless steels find industrial application”, A. van Bennekom – Stainless Steel Word, Dic 98
6. “P 2000: a new austenitic high nitrogen steel for power generating equipment”, G. Stein, I. Hucklenbroich, M. Wagner – High Nitrogen Steel '98
7. “New industrial application of HNS”, C.A.P. Rennhard - High Nitrogen Steel '98
8. “Development of high nitrogen steel at Bholer Edelstahl GmbH Kapfenberg”, J. Bernauer, G. Lichtenegger, G. Hochortler, H. Lenger - High Nitrogen Steel '98
9. “L'evoluzione degli acciai inossidabili superaustenitici”, M. Liljas - L'acciaio inossidabile N.2 anno 1996
10. “High nitrogen martensitic steel for critical components in aviation”, I. Hucklenbroich, G. Stein, H. Chin, W. Trojahn, E. Streit - High Nitrogen Steel '98
11. “Acciai inossidabili Duplex”, W. Nicodemi - L'acciaio inossidabile N.1 anno 1998
12. “Melting of high nitrogen steel”, H.K. Feichtinger, G. Stein - High Nitrogen Steel '98
13. “Powder Metallurgy high nitrogen stainless steel”, F.S. Biancaniello, R.D. Jiggetts, R.E. Ricker, S.D. Ridder - High Nitrogen Steel '98
14. “Mechanical properties and corrosion resistance of PM high nitrogen stainless steel consolidated by hot extrusion”, T. Isomoto, H. Ikeda, T. Kouda, K. Ichii, T. Oishi - High Nitrogen Steel '98
15. “Produzione e consumi 1995 di acciaio inossidabile – L'acciaio inossidabile N.3 anno 1996
16. “Nickel free high nitrogen austenitic stainless steel produced by metal injection moulding”, P.J. Uggowitzer, W.F. Bahre, H. Wohlfromm, M.O. Speidel - High Nitrogen Steel '98
17. “L'inox al servizio del calcestruzzo: durata e risparmio – Inossidabile N149 Sett 2002