A. Tamba

IL COMPORTAMENTO ALLA CORROSIONE AMBIENTALE DEGLI ACCIAI INOSSIDABILI

The central role of the resistance of passive film of stainless steels which depends upon their actual surface composition and microstructure, is emphasized. The wider and wider social acceptability and polyfunctionality of stainelss steels are among the reasons of their growing success in the building industry and architecture. The mechanisms of corrosion, intended mainly as factors leading to aesthetic deterioration in building architectural application, are reviewed as a function of the type of steel, surphace finish and the characteristics of the exposure site.
A number of general advices are outlined aiming at selecting the proper steel grade for each set of environmental conditions.

Gli acciai inossidabili: chi sono

Gli acciai inossidabili sono leghe a base di ferro che uniscono alle proprietà meccaniche tipiche degli acciai, caratteristiche peculiari di resistenza alla corrosione. La parola italiana che li contraddistingue è quanto mai impropria in quanto essi sono "ossidabilissimi", vale a dire hanno la possibilità, grazie al contenuto degli elementi in lega, essenzialmente alla percentuale di cromo, di "passivarsi", cioè di ricoprirsi di uno strato di ossidi invisibile, di spessore pari a pochi strati atomici, che protegge il metallo sottostante dagli attacchi corrosivi. Molto propria è invece la dizione anglosassone "stainless", derivata dalla capacità di questi materiali di non "arrugginirsi" negli ambienti atmosferici e naturali.

Il fenomeno della passivazione avviene per reazione con l'ambiente ossidante, come ad esempio l'aria, l'acqua, soluzioni varie, etc... La natura di questo strato è autocicatrizzante e garantisce la protezione del metallo, anche se localmente si verificano abrasioni od asportazioni della pellicola, qualora composizione chimica dell'acciaio e severità del danno siano opportunamente inter-relazionate. In particolare, questo film passivo può essere più o meno resistente in funzione della concentrazione di cromo nella lega e in relazione all'eventuale presenza di altri elementi quali il nichel, il molibdeno, il titanio, ecc.

Il valore minimo di Cr affinché si possa parlare di acciaio inossidabile, cioè in grado di passivarsi, è l'11/12%. E' chiaro, quindi, che esistono diversi gradi di inossidabilità e di resistenza alla corrosione nell'ambito della numerosa gamma di prodotti inossidabili disponibili. Essi coprono, in altre parole, una ampia scala di nobiltà cinetica, a seconda del contenuto in lega degli elementi che li caratterizzano. Parimenti, in relazione a definiti rapporti tra gli elementi chimici che ne costituiscono la composizione, l'acciaio inox presenta diverse microstrutture in grado di offrire uno spettro fortemente diversificato di proprietà meccaniche a temperatura ambiente, criogeniche o elevate. Pertanto per ogni livello di severità ambientale e di richiesta meccanico-resistenziale compreso all'interno della vastissima gamma di problematiche tecnologiche di impiego, si può trovare la soluzione tecnico-economica ottimale configurabile nella scelta del tipo di acciaio inox adatto (fig. 1).

Gli acciai inox si dividono tradizionalmente, secondo la loro microstruttura, in tre grandi famiglie:
- i martensitici
- i ferritici
- gli austenitici.

Gli inossidabili **martensitici** sono leghe al cromo (dall'11 al 18% circa) con carbonio relativamente elevato, contenenti piccole quantità di altri elementi come, ad esempio, il nichel. Sono gli unici inox che possono prendere tempra e pertanto aumentare le loro caratteristiche meccaniche (carico di rottura, carico di snervamento, durezza) mediante trattamento termico. La loro resistenza alla corrosione è in genere modesta, comparativa-

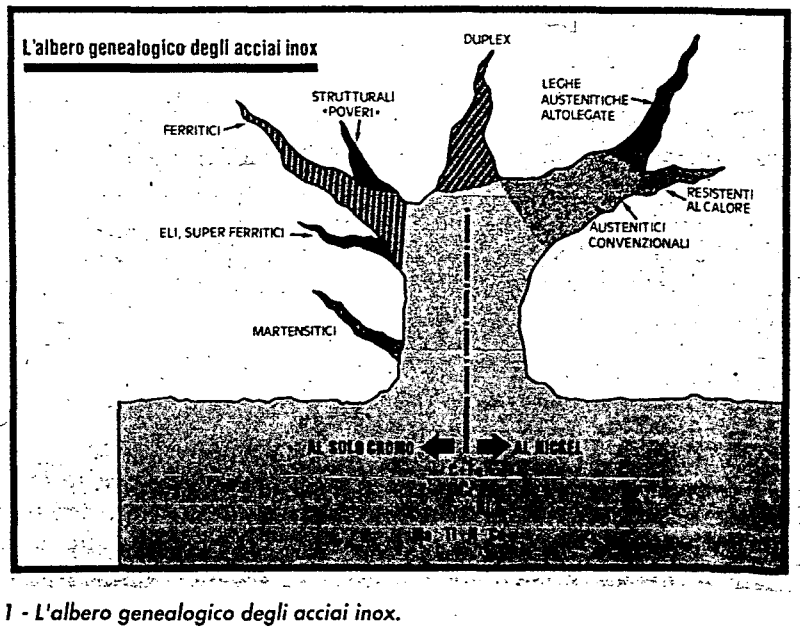


Fig. 1 - L'albero genealogico degli acciai inox.

mente alle altre famiglie, come pure difficoltose sono formalità e saldabilità.

Anche i **ferritici** sono acciai inossidabili al solo cromo a struttura cubica a corpo centrato come l'acciaio al C (il contenuto di Cr è variabile da 11 al 30%), ma non possono inalzare le loro caratteristiche meccaniche per mezzo di trattamenti termici. Si lavorano facilmente per deformazione plastica, sia a caldo che a freddo e presentano resistenza alla corrosione da buona a eccellente, dipendente dal livello di Cr, nonchè da alligazioni con Mo. Bassi livelli di C e N e l'impiego di elementi stabilizzanti quali Ti e Nb, favoriscono saldabilità, formabilità e tenacità.

Gli **austenitici** sono invece leghe al cromo-nichel, tipicamente con cromo tra 17 e 26% e nichel tra il 7 e il 25%, a struttura cubica a facce centrate. Gli austenitici possono incrementare le loro proprietà tensili per incrudimento da deformazione a freddo (laminazione, imbutitura, ecc.). Esistono diverse versioni a basso contenuto di carbonio, stabilizzate con titanio o niobio, per i più svariati tipi di impiego. Ottima è la loro lavorabilità soprattutto la deformabilità a freddo (specie l'imbutibilità) e la saldabilità, nonchè la tenacità anche a temperature criogeniche. Eccellente è la loro resistenza alla corrosione, peraltro in funzione di Cr e Mo, seppure trovino il loro tallone d'Achille nell'essere soggetti a criccature sotto tensione in ambienti clorurati a temperature elevate.

Oltre a queste tre categorie principali, esistono anche altre due famiglie meno note, il cui impiego è in forte ascesa, per impieghi più specifici. La prima è quella degli acciai "**austeno-ferritici**", detti anche "**duplex**", che presentano una struttura mista di austenite e di ferrite. Questi materiali sono impiegati quando vengono richieste, ad esempio, caratteristiche di elevata resistenza nei confronti della corrosione sotto tensione; essi hanno saldabilità e caratteristiche meccaniche di solito superiori a quelle dei ferritici correnti.

Da citare sono anche gli acciai inossidabili "**indurenti per precipitazione**"; questi presentano la possibilità di innalzare notevolmente le proprie caratteristiche meccaniche per trattamenti termici particolari di invecchiamento, che consentono di far precipitare fasi intermetalliche dure nella matrice al fine di aumentare le proprietà meccaniche della lega. Inoltre, gli acciai indurenti per precipitazione possiedono resistenza alla corrosione paragonabile a quella degli acciai austenitici classici, a parità di cromo e molibdeno.

Attualmente si è giunti ad una differenziazione notevole nella tipologia degli acciai inossidabili e se ne contano ben più di cento tipi solo tra quelli standarizzati, ai quai sono da aggiungere i "fine steels", prodotti dalle diverse acciaierie, rivolti a risolvere definiti problemi di impiego in nicchie particolari di mercato.

Accettabilità e polifunzionalità

La versatilità, multifunzionalità e larga disponibilità, nonchè il prezzo fortemente competitivo degli acciai inox in relazione alla capacità di risolvere problemi pratici dell'utilizzatore, fanno sì che le previsioni macroeconomiche più conservative indichino per il settore un aumento medio del consumo superiore al 3/4% annuo fino al 2000, a fronte di un aumento della produzione industriale stimata non distante dal 2% (fig. 2). Questo quadro peraltro non tiene neanche conto del grande potenziale sviluppo atteso nel comparto dei nuovi acciai inox strutturali di basso costo da collocare nella fascia tecnico/economica "vuota" tra l'acciaio al C rivestito e gli inossidabili tradizionali. La citata prevista espansione risiede nella affermazione progressiva delle peculiari caratteristiche dell'acciaio inossidabile, riassumibili in:

- resistenza al deterioramento
- estetica
- competitività economica con soluzioni consolidate che comportano interventi manutentivi più o meno frequenti
- capacità di adattarsi alla evoluzione sempre più sofisticata della domanda
- elevatissima accettabilità sociale, connessa all'immagine "verde-ecologica" implicita nel concetto inossidabile
- alta riciclabilità.

Tra i settori ove maggiore è lo sviluppo dell'impiego dell'inossidabile è da annoverare, da qualche anno, quello dell'edilizia e dell'architettura. Le potenzialità di crescita in questo settore sono particolarmente elevate in Europa, ove la penetrazione dell'inox nell'impiego architettonico è tuttora piuttosto scarsa se rapportata a quanto accade in Giappone, pur tenendo conto del diverso quadro socio-economico-culturale (fig. 3).

Il successo crescente nel settore edilizio/architettonico è il frutto che si raccoglie dopo aver seminato esperienze inizialmente isolate ma di grande prestigio, risultate estremamente positive sotto il profilo estetico, della durata, della sostanziale economicità.

La lunga storia dell'impiego edilizio inizia addirittura negli anni '30 con i grattacieli delle grandi compagnie (es. grattacielo Chrysler del 1930), diffondendosi poi in Europa e in Italia (CSM-1969) in edifici dapprima di grande impo-

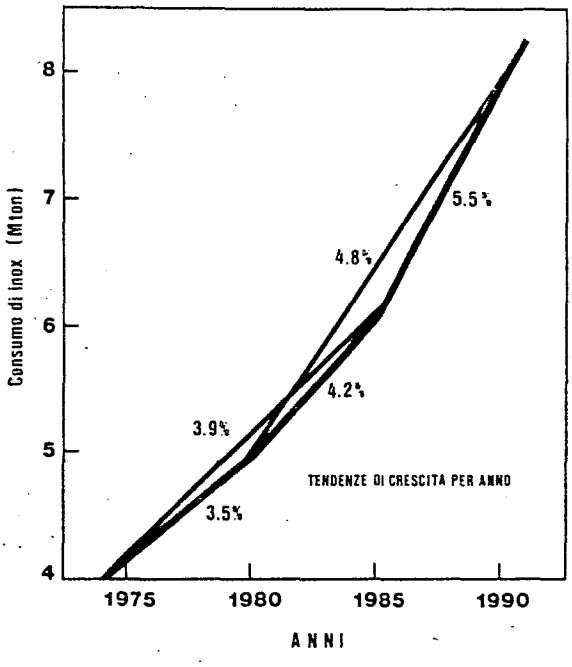
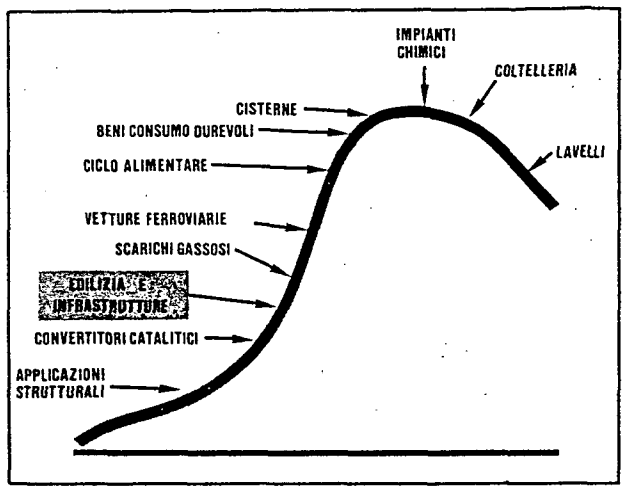


Fig. 2 - Andamento del consumo mondiale di acciai inox.



Ciclo di vita dei prodotti inox

Fig. 3 - Ciclo di vita dei prodotti inossidabili in relazione ai settori di impiego. L'edilizia è un settore in fase di forte crescita.

nenza. E' degli ultimi 10-20 anni la progressiva e inizialmente timida comparsa dell'inossidabile nella edilizia civile, abitativa e nell'arredo urbano. Il successo attuale, peraltro da considerare solo una base per futuri e ben più allargati sviluppi, ormai poggia su una serie di fatti concreti quali:

- larga e pronta disponibilità di prodotti piatti, lunghi, sagomati, variamente finiti offerta dai produttori;
- costi sempre più competitivi con le soluzioni tradizionali;
- pieno riconoscimento, anche nel settore edile dopo quello industriale, della validità dei criteri di scelta dei materiali sulla base del ciclo di vita e non del solo costo di investimento iniziale;
- sempre più diffusa capacità di pensare-lavorare- costruire inox da parte di una miriade di imprese medie-piccole-piccolissime. Ciò è avvenuto per la capillare azione di disseminazione dell'informazione tecnica sul cosa-come-perchè fare con l'acciaio inossidabile svolta dalle organizzazioni dei produttori e dal Centro Inox.

Tutto ciò ha portato l'Italia a livelli di consumo apparente di acciaio inox tra i più alti nel mondo, facendone peraltro un mercato di accesissima concorrenza, dove si misurano i più forti e qualificati produttori mondiali. Ed è proprio questo stimolo che migliora continuamente l'industria nazionale del settore, portandola ad offrire, in ogni settore di impiego, quello che serve agli operatori.

Le proprietà giuste per le richieste dell'edilizia e dell'architettura.

Molti architetti ed ingegneri si avvalgono da tempo del singolare connubio di caratteristiche offerto dall'acciaio inossidabile, un materiale versatile che si presta in modo egregio ad una vasta gamma di applicazioni edili e costruttive. La diversità delle applicazioni per cui si è utilizzato l'acciaio inox in ogni parte del mondo vanno dai componenti più semplici a strutture molto complesse e originali.

Spesso considerato in passato un materiale riservato alle applicazioni di maggior prestigio, oggi l'acciaio inossidabile è visto come una soluzione funzionale, efficace e competitiva sul piano dei costi di molti problemi ben specifici che si presentano nel settore dell'edilizia. Ormai è il materiale di elezione per essere utilizzato specificamente per tutte quelle aree, nascoste od esposte, che vanno soggette a fenomeni di corrosione.

Le caratteristiche peculiari dell'acciaio inossidabile sfruttate nell'edilizia sono:

- elevata resistenza alla corrosione
- l'acciaio inox non richiede nessun rivestimento protettivo, se non richiesto per finalità estetico/decorative;
- bassi costi di manutenzione - per mantenere la sua finitura originaria, il materiale richiede soltanto dei periodici lavaggi a base di acqua e sapone;
- resistenza, durevolezza, affida-

bilità con un elevato carico di rottura;
- facile saldabilità nonchè formabilità mediante profilatura o stampaggio;
- disponibilità di una ampia gamma di finiture comprendenti il satinato, l'opaco, il lucido e le diverse improntature (grana di riso, mosaico, ecc.). Si possono aggiungere, infine, molteplici colorazioni quali oro, bronzo, blu, rosso, verde e nero ottenute mediante procedimenti chimico-fisici e/o rivestimenti plastici conferiti in linee di "coil coating".

La forma di prodotto più largamente impiegata finora in edilizia è il prodotto piatto e derivati (profilati, stampati, tubi saldati per arredo, etc.). Lo sviluppo prepotente è previsto nel prossimo futuro per le finiture più personalizzate, colorate etc. attualmente presenti seppure non disponibili almeno come prodotto di facile e/o pronta reperibilità.

Fin da ora si prevede un incremento di impiego per nuovi prodotti lunghi, ad esempio le barre di inossidabile, nelle opere civili stradali in cemento armato. L'esperienza autostradale dimostra infatti che la corrosione, esaltata dai sali antighiaccio, distrugge in pochi anni i manufatti, compromettendo viabilità, sicurezza, investimenti in quelle costose e vitali infrastrutture.

In forma di nuovi speciali tubi saldati, magari avvolgibili in rotoli, di spessore sottile, tagliabili con facilità in cantiere e dotati di giunti a innesco rapido, l'acciaio inossidabile si presenterà presto in forza per risolvere con semplicità i problemi di installazione e la garanzia di durata delle rete di distribuzione e scarico delle acque calde e fredde degli edifici civili.

Le necessità di coniugare durevolezza ed estetica negli esterni degli edifici industriali pubblici e civili godranno a breve di una progressiva disponibilità di preverniciato su base inossidabile sulla scorta di quanto è accaduto in Giappone nell'ultimo decennio. In definitiva, seppure solo attraverso alcuni sviluppi esemplificativi tra i tanti in corso è evidente che l'evoluzione continua dei prodotti inossidabili dimostra l'attenzione della produzione verso le esigenze presenti e future dell'ingegnere edile e dell'architetto.

La corrosione: perché e come si manifesta

Si è già accennato al fatto che l'acciaio inox deve la sua "inalterabilità" alla fortunata e singolare modalità di reagire con l'ambiente circostante ossidante, costruendo un film invisibile di spessore 3-5 10^{-7}mm, costituito da ossi/idrossidi di Cr, che lo isola efficacemente (fig. 4).

Per analogia questo film sopra un lamierino di 1 mm di spessore fa la figura di una cartolina sopra un palazzo di dieci piani. Tale film, detto film passivo, non è una costruzione statica, ma si riforma continuamente a spese sia dell'acciaio, che si consuma, seppure a velocità impercettibile, rimanendo peraltro sostanzialmente inalterato alla vista, che dell'ossigeno contenuto nel mezzo di esposizione. Il mantenimento di questa inalterabilità "costa" tanto meno quanto più è alto il Cr e il Mo nell'acciaio e, a parità di questi ultimi, in relazione al tenore di Ni. Questo costo di "corrosione generale" è quantizzato nella corrente di passività ip, determinata dagli elettroni che nell'unità di tempo lasciano il metallo a causa della reazione di ossidazione (ovvero di corrosione) riducendo contemporaneamente ossigeno dall'ambiente circostante.

Per dare una idea tangibile, estrapolando dati sperimentali, si ricava che nell'atmosfera urbana inquinata sono necessari oltre cento anni per consumare un millimetro di acciaio ferritico al 17% Cr e alcuni secoli per un acciaio 18 Cr 10 Ni. D'altra parte, in analogia con un organismo vivente, l'acciaio inox può soffrire di "manifestazioni acute" che lo possono seriamen-

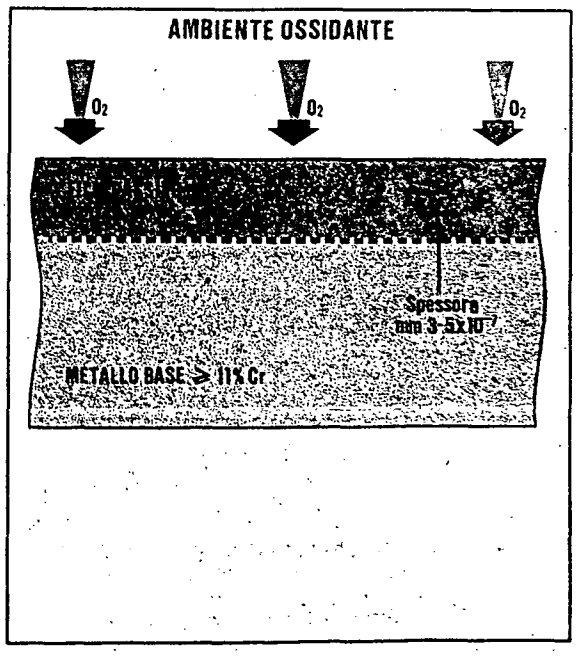


Fig. 4 - Il film passivo degli acciai inox. Schema.

te danneggiare localmente, compromettendone estetica ed inalterabilità. Si tratta di manifestazioni a carico del film passivo che concorrono a riportare il materiale verso il proprio stato di quiete termodinamica o di ossido dal quale la tecnologia estrattiva e di trasformazione lo ha tolto.

L'impiego edilizio/architettonico dell'acciaio inox presuppone primariamente il superamento dei problemi della corrosione, ovvero delle conseguenze negative sul piano funzionale ed estetico della interazione del materiale con l'ambiente. Esse sono determinate dalla natura potenzialmente aggressiva degli agenti di inquinamento atmosferico. Tra le speci chimiche aggressive sono da annoverare, in primo luogo, i cloruri, tipici dell'ambiente marino e l'anidride solforosa derivante dalla combustione dei combustibili fossili, contaminante primario delle aree industriali. Fumi, pulviscolo, particelle carboniose da prodotti incombusti etc. aggravano ulteriormente il quadro della severità ambientale, determinando uno spettro di situazioni diversificate che vanno dalle località con aria purissima a quelle marine industriali.

Il modello di meccanismo di corrosione localizzata all'atmosfera è relativamente semplice e schematicamente, può esser così riassunto nei suoi stadi principali successivi (fig 5):

- la pioggia o l'umidità condensata formano, sulla superficie dell'acciaio inox, gocce di acqua contenenti piccole quantità di contaminanti, cloruri, anidride solforosa, ossidi di azzoto, polveri etc. in relazione al tipo di sito. Di per sé questa soluzione non sarebbe in grado di attaccare localmente il film passivo dell'acciaio inox, anche di quello più semplice ed economico (es. al 12% Cr).
- nel tempo e per effetto della irradiazione solare, l'acqua evapora e gli ioni dissolti si concentrano progressivamente. Parallelamente, l'ossigeno atmosferico diffonde rapidamente negli strati sottili periferici delle goccioline d'acqua, sotto ai quali il materiale si troverà a contrastare una soluzione salina fortemente ossigenata che si va concentrando e acidificando.
- in relazione alla intrinseca resistenza alla corrosione dei vari tipi di acciaio inox, in presenza di cloruri e in un ambiente che si va progressivamente acidificando per idrolisi dei primi prodotti di corrosione, il materiale può essere attaccato in corrispondenza dei suoi "punti deboli" quali i giunti di grano, le inclusioni non metalliche, o nelle aree ossidate dalla saldatura, ove la passività è più labile.
- questa situazione può essere aggravata dalla presenza di particelle presenti nell'atmosfera in forma di fumi e polveri che si accumulano in depositi, spesso igroscopici, capaci di mantenere a lungo l'umidità e limitare localmente l'accesso di ossigeno necessario a riformare il film passivo. Le polveri carboniose poi esplicano un ruolo attivo a causa della elevata nobiltà del carbonio, determinando pile locali di corrosione o celle galvaniche in cui è l'acciaio che si corrode.

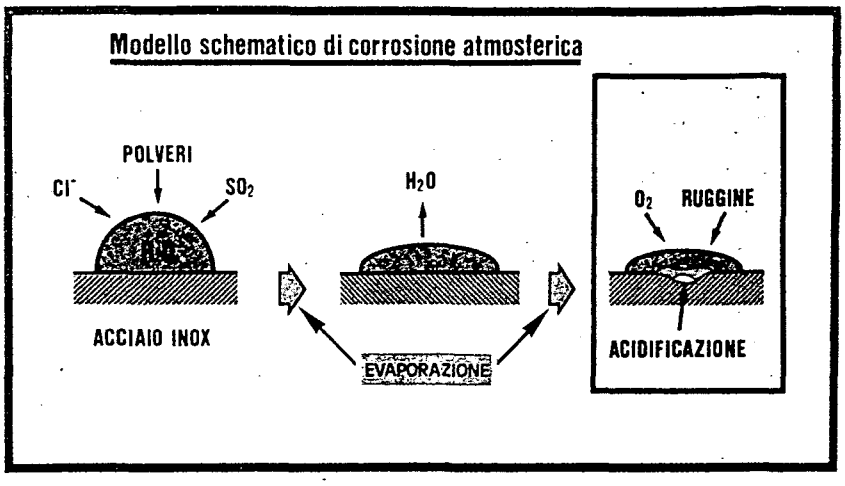


Fig. 5 - Il meccanismo di corrosione localizzata degli acciai inox esposti all'atmosfera.

Le manifestazioni patologiche del film passivo nell'ambiente edilizio/architettonico possono esser ricondotte alle seguenti principali forme:

- corrosione galvanica
- corrosione puntiforme (pitting o vaiolatura)
- corrosione in fessura (crevice).

La **corrosione galvanica** presuppone il contatto di materiali diversi immersi nella stessa soluzione. In questo caso il materiale meno resistente alla corrosione, ovvero meno nobile, incrementa fortemente la propria cinetica di corrosione (fig. 6).

Il **pitting** si manifesta attraverso attacchi puntiformi che, in caso di forte severità ambientale, possono perforare il materiale. La causa ambientale primaria di questa corrosione è lo ione cloruro che, in certe condizioni, attacca lo strato

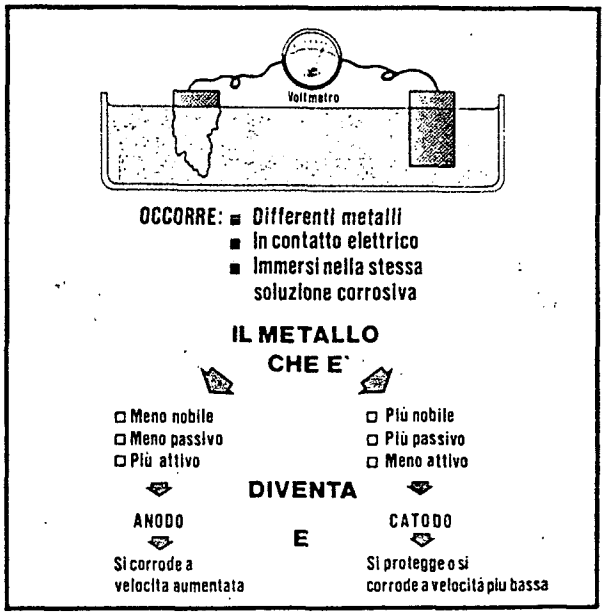


Fig. 6 - Schema del processo elettrochimico di corrosione galvanica.

dando luogo alla corrosione cosiddetta in fessura o "crevice corrosion" (fig. 8).

Tutte queste forme di corrosione sono progressivamente contrastabili mediate:

- scelta opportuna del materiale in relazione alla severità ambientale;
- accurata progettazione
- cura nella installazione
- adozione, se necessario, di manutenzione periodica.

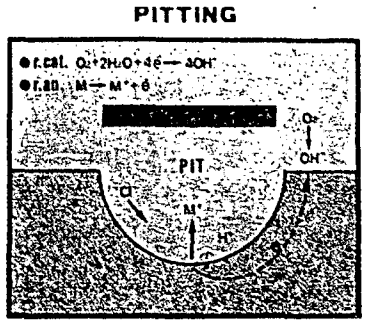
I tipi e le finiture per l'edilizia e l'architettura

I progettisti hanno a disposizione una serie di qualità di acciai inossidabili fra le quali scegliere per far fronte alla gravità della corrosione ambientale. La qualità più semplice e meno dispendiosa sarà sufficiente per condizioni d'aria pulite; l'acciaio più legato darà risultati migliori nelle condizioni peggiori. Sono state ampiamente sperimentate tre qualità, quali i Tipi 430, 304 e 316, tutti facilmente disponibili e che si prestano a coprire pressoché tutte le situazioni. Questi tre tipi di acciai inox base, rappresentano globalmente oltre l'80% della produzio-

passivo nei suoi punti deboli (fig. 7).

In campo architettonico questa forma di corrosione è la più frequente e comporta essenzialmente alterazioni dell'estetica piuttosto che dalla funzionalità dell'acciaio in servizio.

Danneggiamenti in interstizi, sotto depositi, in aree schermate metallo/metallo o metallo/non metallo, che favoriscono l'accumularsi di soluzioni stagnanti possono parimenti avvenire sull'acciaio inox



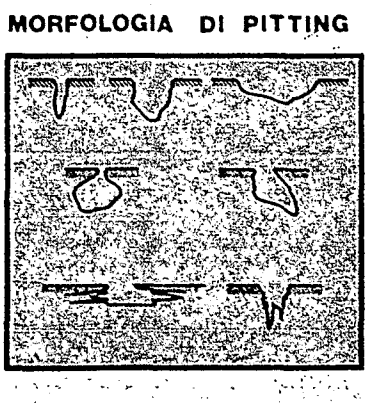


Fig. 7 - Schema del processo elettrochimico di corrosione per vaiolatura (pittin corrosion).

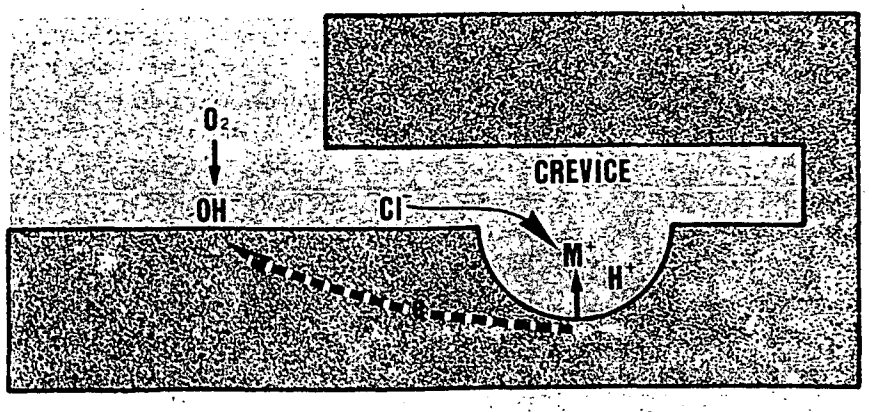


Fig. 8 - Schema del processo elettrochimico di corrosione interstiziale o in fessura (crevice corrosion).

ne. Il tipo 430 appartiene alla serie "400" di acciai inossidabili, che sono sostanzialmente leghe ferro-cromo a struttura metallurgica ferritica. Gli altri due tipi fanno parte della serie "300", a struttura austenitica. Sono acciai caratterizzati da 18% cromo e 8-10% nichel; nel caso del 316 è presente anche 2% di molibdeno, elemento che conferisce proprietà specifiche di resistenza alla corrosione localizzata.

In relazione all'effetto estetico che si vuole conferire all'opera da realizzare con l'acciaio inox, senza considerare qui gli aspetti cromatici di rivestimenti o decorazioni più o meno tecnologicamente complessi, si può specificare una finitura più o meno opaca o riflettente. Nella tabella 1 sono raccolte le finiture superficiali dei laminati piani di acciaio inox, caratterizzate dai tipici valori di rugosità.

Le finiture più usate in edilizia e architettura sono la 2B (la più comune), la BA e le satinate tipo 3 e 4. Relativamente alla risposta alla corrosione, di solito quanto più liscia è la superficie, tanto più facile è mantenerla pulita e tanto migliore è la sua resistenza alla corrosione.

Con le finiture 3 e 4 si può osservare come i segni causati dalla abrasione corrano in una direzione definita. In questi casi è bene ricordare che lo sporco aderirà meno facilmente e sarà più facilmente lavabile se queste linee saranno verticali anzichè orizzontali.

Tab. 1. Finiture superficiali per gli acciai inossidabili

TIPO DI FINITURA	DESCRIZIONE	RUGOSITA' MICRON CLA*
2B	Finitura comunemente specificata ottenuta mediante laminazione a freddo (skin pass)	0.1 - 0.5
2A-BA	Laminazione a freddo e ricottura brillante	0.05 - 0.1
2D	Laminazione a freddo, ricottura e decapaggio	0.4 - 1.0
3	Laminazione a freddo e smerigliatura con abrasivi di circa 100 mesh per ottenere un aspetto satinato	0.4 - 1.5
4	Laminazione a freddo con abrasivi di 120-150 mesh per ottenere una finitura satinata più brillante rispetto alla 3	0.2 - 1.5
8	Finitura molto riflettente ottenuta comunemente sulla lamiera mediante smerigliatura meccanica. Le lucidature successive sono eseguite con abrasivi di dimensioni sempre più fini	0.2
EP	Superficie molto brillante ottenuta mediante lucidatura elettrolitica per ottenere un aspetto speculare.	

*CLA - Centre Line Average. Si tratta di una misura della rugosità determinata mediante il rilevamento delle asperità superficiali. La superficie è tanto più liscia quanto più basso è il numero CLA.

Avvertenze pratiche di progettazione, installazione, manutenzione "anticorrosione"

Anche dopo aver scelto opportunamente il materiale tecnicamente/economicamente valido per un determinato sito, il successo è condizionato dalla applicazione e osservanza di un certo numero di semplici attenzioni in fase di progettazione e fabbricazione, che i costruttori esperti peraltro conoscono e applicano e che la pubblicazione recente "Inox Architettura" del Nidi ha raccolto.

- La vaiolatura o pitting è contrastata oltre che dal tipo di acciaio scelto, ovvero dal tenore di Cr, Ni e Mo, dalla minimizzazione in sede progettuale di aree di ristagno di acqua e condensa che, evaporando, concentrano i sali aggressivi (cloruri) fino alla comparsa del pitting.
- La corrosione in fessura o "crevice corrosion" si minimizza cercando di non creare interstizi in zone esposte alla corrosione (ovvero alla pioggia e alla condensa), quali sovrapposizioni di lamiere, guarnizioni non metalliche mal serrate e/o deperibili nel tempo, fissaggi meccanici seppure con materiali "galvanicamente" compatibili.

La progettazione per limitare pitting e crevice corrosion, comunque, deve massimizzare la opportunità che la pioggia dilavi le superfici libere, rimuovendo sporcizia, residui carboniosi e gli accumuli di prodotti solubili aggressivi. In molti casi occorrerà unire metalli con potenziali galvanici ampiamente diversi, come l'acciaio inossidabile e l'acciaio al carbonio. Ciò può provocare gravi corrosioni di quest'ultimo, in particolare se la sua area è significativamente inferiore a quella del metallo più nobile. Se possibile, queste giunzioni dovranno essere situate in punti che normalmente non siano esposti all'umidità, così da rendere minimi i rischi di attacco galvanico. Altrimenti è opportuno interporre un materiale non conduttore tra i due metalli, per isolarli elettricamente l'uno dall'altro.

Ricorrendo a procedimenti di saldatura, a parte i problemi di scelta dell'elettrodo e della tecnica più idonei, occorrerà lavorare con estrema accuratezza. Le minime imperfezioni, come soffiature, cricche, scorie o gocce di materiale d'apporto rappresentano potenziali punti di attacco. Le saldature dovranno essere spianate e levigate in modo da essere a livello della superficie degli elementi saldati,

facendo in modo di rimuovere il cordone di saldatura eccedente e, soprattutto, la coloritura che si forma per ossidazione termica, costituita da film di ossido di cromo, al di sotto della quale vi è decromizzazione locale della superficie. Ciò comporta una ovvia e drastica diminuzione della resistenza alla corrosione, dipendente, come già accennato, primariamente dal tenore di cromo nell'acciaio.

Le cause potenziali sono un'inadeguata protezione del gas durante la saldatura o, più spesso, un'incompleta eliminazione dell'ossidazione dalla zona di saldatura.

Durante le operazioni di montaggio e installazione vanno evitate le tracce ferrose che costituiscono punti di attacco della ruggine e possono, a loro volta, innescare fenomeni corrosivi. Occorre pertanto fare attenzione a evitare ogni contatto abrasivo con l'acciaio al carbonio durante la fabbricazione - ad esempio, ad opera degli strumenti di formatura o dei dispositivi di sollevamento. Le contaminazioni possono anche derivare dall'uso degli strumenti usati anche per altri materiali non inossidabili. Nel caso in cui si sospetti una tale contaminazione, occorrerà procedere al trattamento con acido nitrico diluito o con altri prodotti speciali - seguiti da un attento risciacquo con acqua - che aiuteranno a rigenerare una superficie resistente alla corrosione.

La manutenzione delle superfici di acciaio inossidabile esposte all'atmosfera solitamente consiste in un lavaggio periodico con un blando detergente per eliminare lo sporco superficiale, che tenderà, ovviamente, a raccogliersi sulle superfici orizzontali o semiorizzontali. Un programma di lavaggio regolare non solo manterrà l'aspetto pulito dell'acciaio inossidabile, ma ridurrà in generale le possibilità di corrosione.

Esposizione alla corrosione atmosferica e caratteristiche resistenziali

In alcune applicazioni architettoniche l'acciaio inossidabile può avere funzioni portanti oltre a quelle estetico decorative. In questi casi è necessario sapere se la corrosione subita durante la prolungata esposizione agli agenti inquinanti possa influenzare le sue proprietà strutturali.

Esistono dei dati ottenuti da test in ambiente aggressivo sulla costa del North Carolina, USA, dove acciai inossidabili austenitici sono stati esposti a 25 e 250 metri dal mare, pertanto in condizioni di estrema severità, raramente realizzate in pratica. Le prove di resistenza a trazione sono state effettuate dopo 3 e 26 anni di esposizione agli spruzzi salmastri e le caratteristiche meccaniche sono state confrontate con quelle di campioni immagazzinati per lo stesso periodo di tempo senza esposizione alla corrosione atmosferica. Test analoghi sono stati condotti in una località costiera in India dopo una esposizione di 10 anni. I risultati di entrambi gli esperimenti hanno dimostrato che, se prima dell'esposizione non sono stati effettuati trattamenti dannosi a caldo od operazioni di saldatura improprie sull'acciaio, gli acciai austenitici tipo 304 e 316 non variano apprezzabilmente le loro caratteristiche meccaniche in funzione del tempo di esposizione all'ambiente corrosivo.

I siti di esposizione e le prestazioni attese

Sulla base dell'esperienza e dei risultati raccolti in letteratura dopo decenni di esposizioni in molteplici località in ogni parte del globo, è possibile redigere un guida generale che lega le caratteristiche del luogo alle prestazioni attese dal materiale. Seppure queste indicazioni, raccolte ed elaborate dall'ente internazionale di sviluppo della applicazione del Nichel (NIDI) siano molto utili, non sostituiscono una attenta analisi delle condizioni del sito specifico che va comunque fatta, specie per installazioni di prestigio e se non c'è precedente esperienza di applicazioni similari in zona. Anche i risultati di esposizioni pluriennali effettuate in vari siti italiani (Savona, Milano, Castel Romano, Tor Vaianica e Sessa Aurunca) dal CSM per conto ed in collaborazione con il Centro Inox si inquadrano sostanzialmente nel quadro comportamentale riportato nel seguito del paragrafo (fig. 9).

Le località sono inquadrabili in quattro tipi fondamentali: rurali, urbane, industriali, marine.

Località rurali

Si tratta di aree sostanzialmente non inquinate, lontane dagli scarichi atmosferici industriali e dalle zone costiere; può trattarsi di aree suburbane con bassa densità di popolazione e industrie leggere non inquinanti.

Il Tipo 430 potrebbe in qualche caso isolato soffrire di macchie leggere sia sulle superfici esposte che su quelle riparate. Le superfici lisce verranno attaccate un po' meno e un lavaggio regolare contribuirà a ridurre/annullare la corrosione, sebbene ci si possa aspettare una certa perdita di brillantezza.

Il Tipo 304 è virtualmente inattaccato sulle superfici esposte, anche se può verificarsi un leggero cambiamento di colore delle superfici riparate. Una superficie liscia avrà una migliore resistenza alla macchiatura e un programma regolare di lavaggio è anche in questo caso utile per mantenerne la fini-

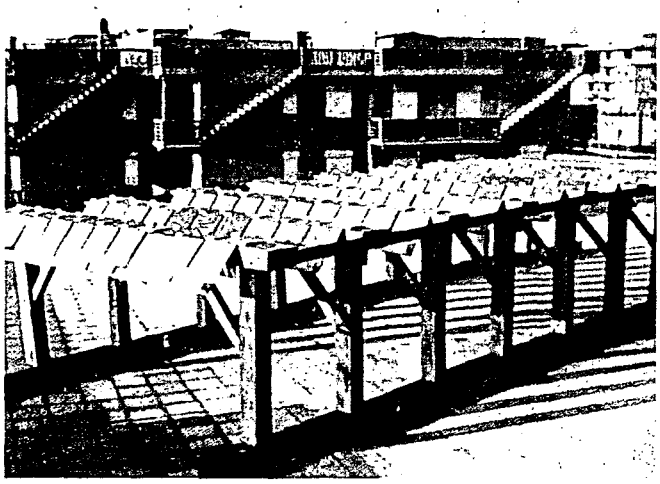


Fig. 9 - Esposizione atmosferica di provini di acciaio inox. Terrazza a circa 200 m dal mare (Torvaianica, Roma).

tura.

Il Tipo 316 mantiene la finitura brillante sulle superfici lucidate (ad esempio con finitura elettrolitica o 2B).

La superficie abrasa può subire una leggera opacizzazione, anche se estremamente limitata. In genere non occorre un lavaggio per mantenere la resistenza alla corrosione, anche se l'eliminazione della pellicola superficiale di sporco dà buoni risultati dal punto di vista estetico.

Località urbane

Si tratta in genere di località residenziali, commerciali e con industrie leggere, con un grado d'inquinamento da leggero a moderato, ad esempio, un traffico veicolare da moderato a pesante.

Il Tipo 430 può arruginirsi leggermente soprattutto nelle esposizioni protette, dove gli agenti inquinanti non vengono lavati dalla pioggia. La finitura superficiale non incide in modo determinante e così pure i programmi di lavaggio della superficie seppure siano utili per prolungare una risposta esteticamente soddisfacente del materiale.

Il Tipo 304 può subire una leggera opacizzazione, che verrà ridotta da lavaggi regolari. In molti casi le superfici lisce danno risultati migliori di quelle finite con mezzi abrasivi.

Il tipo 316 da buoni risultati in atmosfere urbane tipiche e subisce, al massimo, una leggera opacizzazione. La pulizia regolare non è strettamente necessaria agli effetti della resistenza alla corrosione, ma l'eliminazione dello sporco migliorerà l'aspetto globale.

Località industriali

Le località industriali sono le aree con inquinamento atmosferico da moderato a elevato, dovuto alla presenza di industrie pesanti. L'inquinamento è dovuto in genere a gas,come gli ossidi di zolfo e di azoto, provocati dalla combustione di combustibile pesanti; talora si aggiungono altri gas emessi da impianti chimici e di lavorazione. Può aversi deposito di materiale in particelle, come fuliggine dovuta a combustione non interamente combusto oppure ossidi di ferro delle acciaierie, che accelerano il processo di corrosione.

Il Tipo 430 è di solito attaccato nelle zone ad elevato inquinamento industriale. L'uso di una finitura liscia e/o di lavaggi periodici non produrrà miglioramenti sostanziali.

Il Tipo 304 presenterà spesso un attacco da moderato a elevato, anche se le sue prestazioni possono migliorare con il lavaggio.

Il Tipo 316 dà buoni risultati nella maggior parte delle atmosfere industriali, subendo solo una leggera opacizzazione o macchiatura, che può essere ridotta al minimo da un lavaggio regolare. Per condizioni estremamente aggressive, occorrerà prendere in considerazione acciai particolari più legati.

Località marine

Lo ione cloro è spesso l'agente responsabile della vaiolatura e del conseguente arrugginimento degli acciai inossidabili, a meno che non venga usato il tipo d'acciaio idoneo. L'esposizione agli spruzzi marini portati dal vento crea un ambiente potenzialmente avverso, specialmente se la soluzione salina si concentra sulla superficie per evaporazione ed è lavata raramente dalla pioggia.

Il Tipo 430 soffre di arrugginimento piuttosto grave su ampie zone della superficie e non è adatto per la maggior parte delle esposizioni marine.

Il Tipo 304 in genere dà prestazioni migliori, ma può subire gravi vaiolature e lo si deve prendere in considerazione con cautela.

Il Tipo 316 darà generalmente buoni risultati anche in località sulla linea di costa. Una superficie liscia e un lavaggio regolare per eliminare gli agenti contaminanti manterranno generalmente la finitura originaria. Se non viene lavato, può presentare, dopo una lunga esposizione, un certo cambiamento di colore.

In taluni casi, l'atmosfera marina può combinarsi a un inquinamento industriale aggressivo, come avviene per le industrie pesanti situate lungo le coste. Il Tipo 316, pur essendo il migliore degli acciai inossidabili comuni, può subire attacchi inaccettabili e può essere necessario considerare le qualità più legate.

Conclusioni

La focalizzazione della attenzione sui tipi di acciaio inox per impiego edilizio-architettonico, le prestazioni attese e, schematicamente, le ragioni per le quali l'acciaio inossidabile può essere soggetto alle insidie della corrosione atmosferica, hanno reso evidente che la risposta in servizio è sempre e solo legata alle proprietà ed ai malanni del sottilissimo film passivo che il materiale si autocostruisce a propria difesa.

Pertanto, piuttosto che essere sorpresi del fatto che l'acciaio inox talvolta si corroda, dovremmo meravigliarci che una pelle così fine ed invisibile sia talmente efficace da proteggerlo adeguatamente, e, in generale, con piena soddisfazione dell'utilizzatore. Per di più, le condizioni che portano al cedimento del film passivo e le metodologie pratiche per preservarlo al meglio, delle quali è stata fornita una linea guida generale nei paragrafi precedenti, sono spesso misconosciute agli utenti. Ciò comporta, in genere, errori evitabili e, frequentemente, convinzioni sulla inadeguatezza del materiale piuttosto che sulla inadeguatezza o del criterio di scelta del tipo di acciaio in relazione all'ambiente o delle misure di "good practice" adottate, o meglio, trascurate nell'applicazione.

Il ruolo del film passivo, la evoluzione che subisce nel corso della esposizione atmosferica, le possibilità e limiti di resistenza, le necessità di ripristinarlo, emergono da studi elettrochimici originali svolti dal CSM negli anni 1975/76 sui materiali esposti nell'atmosfera urbana industriale di Milano nel corso di campagne di esposizione effettuate per oltre quattro anni in collaborazione con il Centro Inox. E' stato assodato che nei primi mesi di esposizione avviene un consolidamento dello strato passivo, attraverso il progressivo accrescimento dello spessore e il conseguente aumento del grado di protezione. Ciò è stato evidenziato dalla nobilitazione del potenziale elettrochimico, del potenziale di pitting e dal miglioramento di altri parametri elettrochimici (fig. 10).

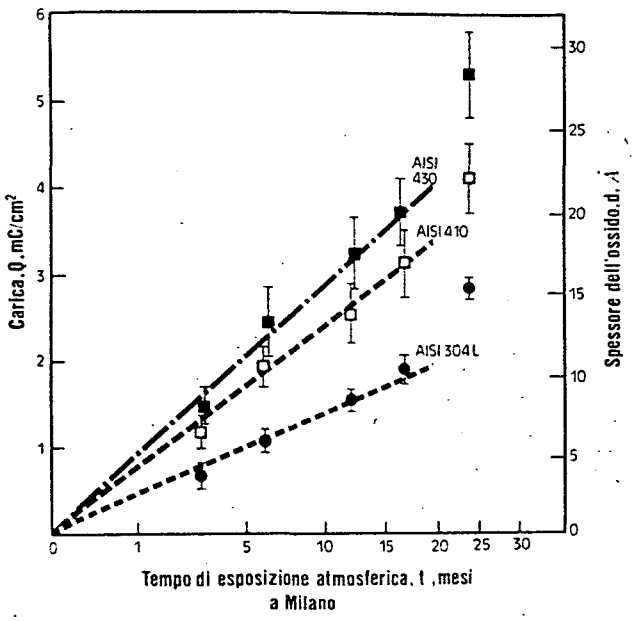


Fig. 10 - Aumento dello spessore del film passivo con il tempo di esposizione in atmosfera urbano-industriale (Milano).

Lo spessore del film passivo è risultato fortemente dipendente dal tenore del nichel nell'acciaio, meno da quello del cromo. In particolare, a parità di tempo di esposizione, lo spessore del film passivo degli acciai austenitici è più contenuto pur offrendo una uguale o migliore protezione, a parità di tenore di cromo.

Con il trascorrere del tempo di esposizione però, all'incirca dopo 17:24 mesi nell'atmosfera inquinata milanese, si verifica un accrescimento anomalo del film e, parallelamente un netto degrado delle proprietà protettive e "sigillanti" del film stesso, con conseguente aumento del deterioramento della superficie dell'acciaio (fig. 11).

Cosa accade e perché ? Si tratta di un vero e proprio fenomeno di invecchiamento per cui il film passivo, inizialmente composto di ossiidrossidi di cromo amorfi con molte molecole d'acqua adsorbite, subisce due processi competitivi: quello di accrescimento e quello di progressivo desorbimento di molecole d'acqua (disidratazione), rimpiazzate dagli anioni presenti come inquinanti nell'atmosfera: SO_3^{2-}, SO_4^{2-}; Cl^-.

La conseguenza più grave dell'invecchiamento delle superfici passive è la formazione di composti solubili, per reazione tra gli oni cromo del film passivo, quelli presenti alla superficie dell'acciaio (cioè ferro, nichel, molibdeno) e gli anioni aggressivi provenienti dal-

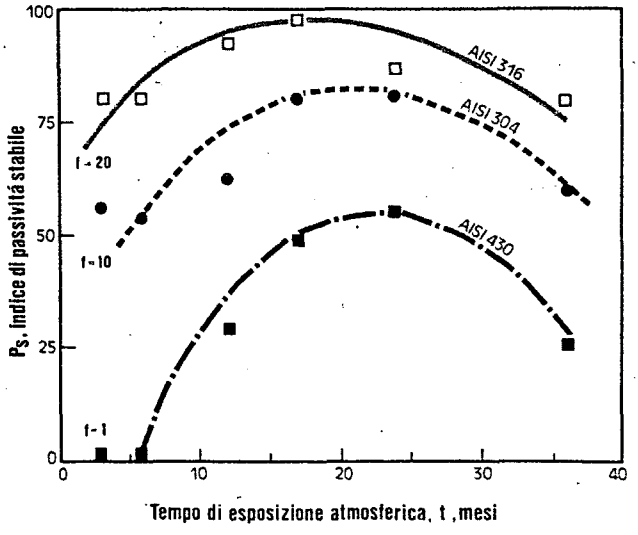


Fig. 11 - Andamento del grado di protettività del film passivo in funzione del tempo di esposizione a Milano.

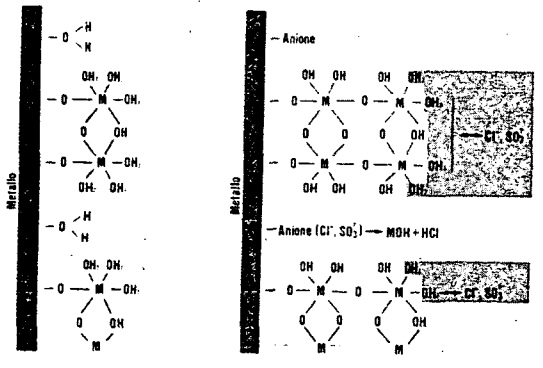


Fig. 12 - Struttura del film passivo. Accrescimento e sostituzione delle molecole d'acqua con anioni inquinanti.

l'ambiente. Il risultato globale è che si determinano vistosi cedimenti localizzati del film passivo non più tamponati dalle capacità "autocicatrizzanti" del film stesso (fig. 12).

La cinetica di questo invecchiamento della superficie passiva dipende direttamente dalla concentrazione di anioni aggressivi nell'atmosfera e, a parità di ogni altra condizione, esiste un preciso ordine di merito tra gli acciai: 410 (12 Cr) <<430<304<316 in relazione al mantenimento della condizione estetica iniziale.

Ma a tutto c'è rimedio!

Come alle rughe del volto umano, segno del tempo e della intensità della vita, si può rimediare con specializzati interventi di chirurgia estetica e di lifting, per contrastare l'invecchiamento del film passivo degli inossidabili è sufficiente effettuare leggermente attivanti. Questo benefico lifting potrà essere fatto ogni 12:36 mesi in relazione alla severità del sito, per garantirsi una prestazione affidabile, estetica, durevole e ammirevole che sfiderà i decenni senza apprezzabile alterazione o degrado (fig. 13).

Si ringraziano vivamente il Prof. Gabriele Di caprio e l'Ing. Fausto Capelli del Centro Inox per la collaborazione e le proficue discussioni.

Bibliografia generale

G. Di Caprio "Schema per la rilevazione del comportamento alla

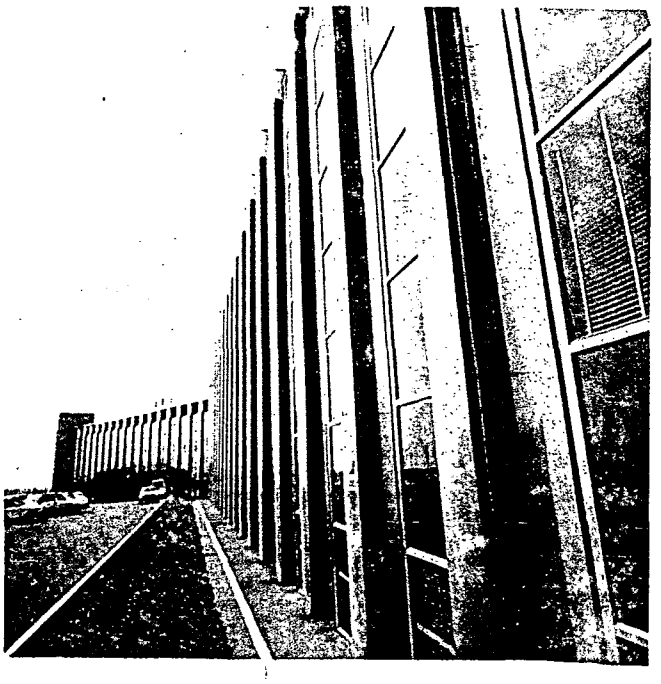


Fig. 13 - La facciata lato mare dei laboratori del CSM dopo quasi 25 anni di esposizione.

corrosione atmosferica di campioni di acciai inossidabili".
La metallurgia italiana; n. 9, Atti e Notizie, p. 229 (1972).

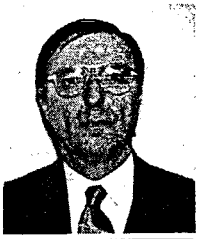
N. Azzeri "Invecchiamento delle superfici passive degli acciai inossidabili in atmosfera urbano industriale.
La metallurgia italiana, n. 5, p. 229 (1976).

G. Di Caprio "Gli acciai inossidabili". Ed. U. Hoepli, Milano, 1981.

Anonimo Inox Architettura "La resistenza alla corrosione atmosferica", Nicel Development Institute (NIDI) per Euroinox1990.

F. Capelli "La colorazione dell'acciaio inossidabile: esempi applicativi". Nuova Finestra n. 4, p. 266 (1990).

A. Tamba "Acciai Inossidabili: la situazione tecnica e l'evoluzione processo-prodotto- mercato".
ILVA Quaderni n. 3, p. 3, (1990).



Alberto Tamba
Laureato in Fisica dello stato Solido, è responsabile dell'attività di ricerca e sviluppo del Centro Sviluppo Materiali S.p.A. nel settore degli acciai inossidabili; Esperto nazionale nel Comitato Corrosione della CECA ed autore di oltre cento pubblicazioni sulla metallurgia e le applicazioni degli acciai resistenti alla corrosione.