

La zincatura a caldo è uno dei metodi più diffusi per la protezione dei manufatti in acciaio dall'ambiente esterno. La garanzia che il "ferro" non arrugginisca è data dalla protezione catodica offerta dallo strato di zinco, che in presenza di una scalfitura o di una zona non protetta superficialmente, avendo potenziale minore, si ossida al posto dell'acciaio. Le norme tedesche (DIN 50975, pt. 2) definiscono questo processo come: "il procedimento di ricopertura con zinco, per mezzo della immersione dei pezzi lavorati nello zinco fuso, cosicché tra il pezzo e lo strato di zinco si possono formare degli strati di lega". Questa è la sostanziale differenza con gli altri tipi di zincatura, che consistono in una pura deposizione meccanica (metallizzazione) o elettrolitica di zinco sulla superficie, sistemi che però non assicurano una resistenza nell'ambiente normale o negli ambienti ostili alla pari della zincatura a caldo: la vita del manufatto è direttamente proporzionale allo spessore del rivestimento e dipende dalle condizioni esterne dell'ambiente.

## LA LEGA FERRO-ZINCO

Durante la zincatura a caldo di un materiale metallico, essendo praticamente questo un processo metallurgico, la composizione superficiale cambia e si ha luogo alla formazione di una lega intercristallina tra il ferro dell'acciaio e lo zinco dello strato superficiale. Il suo spessore è dipendente dal tipo di materiale, il tempo di immersione e la temperatura del bagno di zincatura. E' proprio questa zona di pochi micrometri (millesimi di millimetro) di spessore il segreto della resistenza della zincatura a caldo: la lega funge da vero e proprio legante tra lo strato protettivo di zinco puro e il substrato ferroso da proteggere.

I rivestimenti che si ottengono per zincatura a caldo sono costituiti da più strati di leghe di zinco e ferro, fondamentalmente 3 che vengono chiamati "gamma", "delta" e "zeta" ed uno strato esterno di zinco praticamente puro (strato "eta") che conferisce al rivestimento il caratteristico aspetto metallico brillante. Lo strato gamma ha uno spessore di circa 1  $\mu\text{m}$  ed è costituito da una lega di acciaio e zinco che contiene circa il 25% di zinco. Lo strato seguente, denominato strato delta, contiene il 10% di ferro. Lo strato spesso, in cui sono visibili i cristalli che si dirigono verso l'alto, è lo strato zeta, con il 6% di ferro; infine, sulla superficie si forma un rivestimento di zinco quasi puro



## RESISTENZA ALLA CORROSIONE

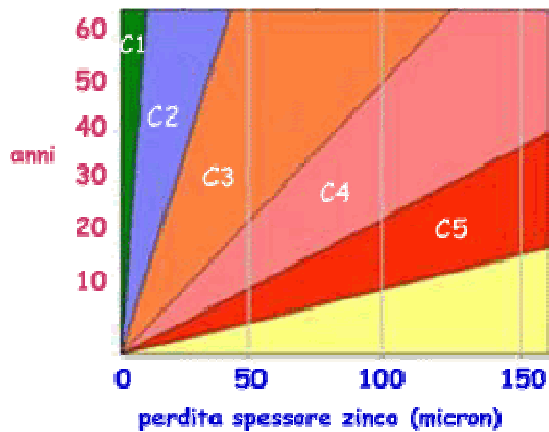
Sulla superficie del pezzo, a contatto con l'ambiente esterno, si forma un film protettivo di ossidi, carbonati e idrati di zinco che si ancorano allo strato sottostante isolando così l'acciaio dagli agenti corrosivi. Se il film di "ossidi" viene rovinato (ad esempio per dilavamento o abrasione) si riformano i composti sopra citati che garantiscono la protezione.

I rivestimenti galvanici offrono una tripla protezione all'acciaio sottostante:

- ▶ protezione per effetto barriera: il rivestimento isola l'acciaio dall'ambiente corrosivo esterno
- ▶ protezione catodica o di sacrificio: lo zinco viene a costituire la parte anodica nella pila di corrosione e si corrode lentamente proteggendo così l'acciaio: finché vi sarà zinco in superficie l'acciaio non subirà alcuna corrosione.
- ▶ sigillatura delle zone scoperte: i prodotti di corrosione dello zinco, che sono insolubili, compatti ed aderenti, vanno a sigillare le zone dell'acciaio che, per una qualsiasi ragione (urti, graffi ecc.), vanno a trovarsi accidentalmente a contatto con l'ambiente

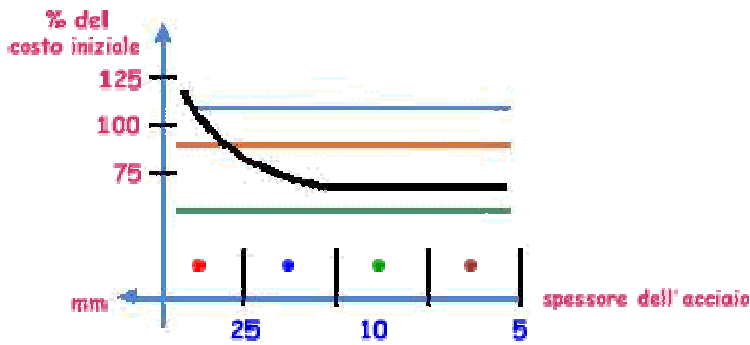
La durata della protezione che offrono i rivestimenti galvanici di fronte alla corrosione atmosferica è molto elevata e dipende, oltre che dallo spessore del rivestimento, dalle condizioni climatiche del luogo e dalla presenza più o meno spinta di agenti aggressivi nell'atmosfera, come ossido di azoto (che si origina per attività urbane ed industriali) e cloruri

(normalmente presenti nelle zone costiere).



categorie di corrosione	di ambiente	perdita media annuale dello spessore di zinco ( $\mu\text{m}$ )
C1 (molto bassa)	interni: secchi	0,1
C2 (bassa)	interni: condensazioni occasionali	da 0,1 a 0,7
C3 (media)	interni: umidità elevata e talune contaminazioni dell'aria esterni: urbano non marittimo e marittimo a bassa salinità	da 0,7 a 2,1
C4 (alta)	interni: piscine, impianti chimici ecc.. esterni: industriale non marittimo e urbano marittimo	da 2,1 a 4,2
C5 (molto alta)	esterni: industriale molto umido o con elevato tasso di salinità	da 4,2 a 8,4

La ruggine la conoscono tutti: almeno una volta si è visto una struttura, un chiodo o magari il cancello di una vecchia villa corrosi (bucati) da questa "malattia" che affligge tutti i manufatti ferrosi. La corrosione è molto pericolosa: quando ci si accorge può essere ormai troppo tardi e la resistenza meccanica-strutturale può essere compromessa: perché rischiare per risparmiare qualche soldo? Il grafico sfata la diceria che la zincatura sia più costosa della verniciatura...



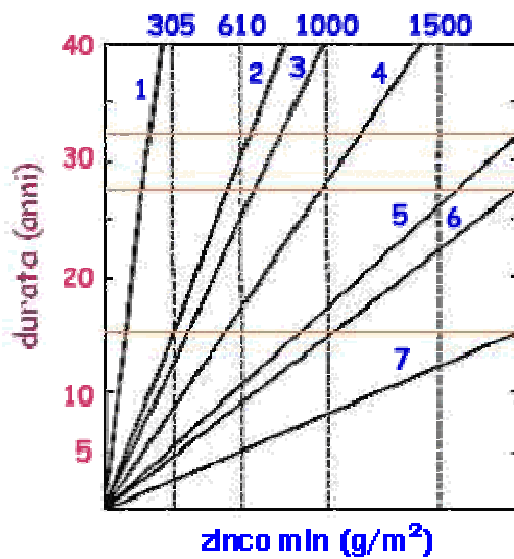
**campo di applicazione**

- strutture pesanti
- strutture medie
- strutture leggere
- manifattura

**legenda**

- granigliatura + 4 strati di vernice
- granigliatura + 3 strati di vernice
- zincatura a caldo
- spazzolatura metallica + fondo

Nel grafico che segue, in ascissa è riportata la copertura minima di zinco in grammi a metro quadro di superficie del manufatto (si tenga conto che nei manufatti tubolari si deve considerare anche la superficie interna del tubo). Le seguenti tabelle (fonte ASTM A-123) servono per fare dei calcoli approssimativi della durata del proprio manufatto.



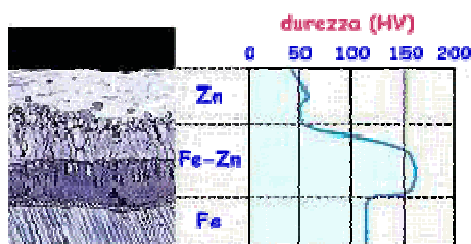
- 1: ambiente interno secco
- 2: all'aperto: zona entroterra non inquinata
- 3: ambiente interno umido
- 4: all'aperto: zona costiera non inquinata
- 5: all'aperto: zona entroterra inquinata
- 6: all'aperto: zona costiera inquinata
- 7: immersione in acqua di mare

categoria/spessore acciaio	< 1,6	1,6÷3,2	3,2÷4,8	4,8÷6,4	> 6,4
profilati	45	65	85	85	100
piatti	45	65	75	85	100
tubi	...	...	75	75	85
fili	45	45	65	65	75

$\mu\text{m}$	35	45	55	65	75	85	100
$\text{g}/\text{m}^2$	250	320	390	460	515	605	710

## RESISTENZA ALL'ABRASIONE

La zincatura è un processo unico perché produce un rivestimento con una gamma di proprietà di durezza e resistenza. Gli acciai dolci hanno, in genere, una durezza di 160 Vickers (Hv) circa. Gli strati di lega sono più duri e raggiungono una durezza approssimativa di 240 Hv, mentre lo zinco più superficiale risulta più morbido dell'acciaio o della lega.



Lo zinco è alquanto malleabile e assorbe i colpi; se la zincatura viene colpita duramente, essendo gli strati di lega più duri dell'acciaio stesso, il danno può non raggiungere l'acciaio sottostante. Se il danno è veramente grave, apparentemente la zincatura sembra completamente rimossa, ma la rimozione totale è molto difficile, la parte sottile sul fondo dello strato di lega è saldata all'acciaio atomo per atomo, e anche se tutto quanto il rivestimento fosse completamente danneggiato e scrostato, lo strato inferiore rimarrebbe intatto e fornirebbe la protezione elettrochimica.

## PROTEZIONE ELETTROCHIMICA

Se viene rimosso in piccola parte lo strato di zinco (ad esempio graffi o piccole lavorazioni meccaniche) lo zinco circostante e quello legato in lega proteggono l'acciaio elettrochimicamente: lo zinco ha un potenziale di riduzione standard più basso del ferro, cosicché si ossida prima, proteggendo fino al suo esaurimento l'acciaio del nostro manufatto. Se due metalli entrano in contatto, appare tra di loro una piccola differenza di potenziale: quando passa la corrente, uno dei metalli si corrode in preferenza rispetto all'altro. Questo comportamento è dovuto ad alcune proprietà atomiche dei metalli, e si può calcolare con assoluta certezza quale metallo proteggerà l'altro. Il nostro obiettivo è proteggere l'acciaio, che è composto per lo più da ferro; i metalli che proteggono il ferro elettrochimicamente sono il magnesio, l'alluminio, il cadmio e lo zinco e, fra questi, lo zinco è il più pratico per la protezione tramite l'immersione a caldo. Altri metalli o leghe, come il nichel, il rame e l'ottone, sembrano svolgere la stessa funzione, perché è possibile vederli utilizzati per le placcature su oggetti di uso quotidiano, se la placcatura viene danneggiata, questi metalli preferiscono salvare se stessi piuttosto che l'acciaio sottostante, e in genere il rivestimento non può essere riparato in alcun modo. Allo stesso modo, i comuni rivestimenti ottenuti con vernici non esercitano alcun effetto elettrochimico sull'acciaio, se la vernice è danneggiata, non è applicata correttamente o diventa permeabile durante l'uso, l'acciaio si corrode sotto la vernice.

A volte la protezione elettrochimica prende il nome di protezione di sacrificio in quanto lo zinco si sacrifica per proteggere l'acciaio a cui è legato e continuerà a proteggerlo fino all'ultimo atomo. Se c'è un rivestimento galvanico, anche se si trova in pessime condizioni dopo molti anni senza manutenzione, l'acciaio sottostante mantiene la sua integrità strutturale, nessun altro rivestimento tradizionale senza lo zinco può fare altrettanto! La protezione rimane attiva su una piccola area anche se il rivestimento non è più uniforme, perché l'influsso della protezione elettromagnetica funziona anche a una certa distanza; può anche capitare che i residui della corrosione dello

zincio siano duri e tenaci. Le scalfiture del rivestimento vengono in genere riempite da ossidi e carbonati di zinco, che rallentano l'avanzamento del processo corrosivo.

## DIFETTI DELLA ZINCATURA

I difetti della zincatura possono essere dovuti a difetti del materiale, del processo di trattamento e zincatura o a un cattivo stoccaggio del materiale zincato. Vediamo alcuni tra i più comuni difetti riscontrabili sulla zincatura a caldo. La superficie si presenta molto ruvida e irregolare:



►► Il pezzo era ruvido già prima della zincatura (n.b.: la zincatura non copre i difetti di lavorazione, ma li rende più visibili);

►► l'acciaio contiene grande percentuale di fosforo (P) o di silicio;  
►► lo strato di zinco è molto spesso.

Questo rivestimento assolve comunque alla protezione del manufatto e quindi non costituisce motivo per scartare il pezzo.

## INCLUSIONI DI SCORIE

Se sulla superficie di una buona zincatura si presentano piccoli nodi duri, sono dovuti con molta probabilità all'agitazione delle scorie sul fondo della vasca durante la zincatura. Questo rivestimento, dato che il sottostante strato è ottimale, assolve alla protezione del manufatto e quindi non è motivo per scartare il pezzo. L'eventuale problema estetico o funzionale (ad es. corrimani), può essere risolto con limatura o levigatura dei noduli



## LA RUGGINE BIANCA



Se ci sono ampie macchie bianche o grigie sulla superficie del manufatto, sono principalmente ossidi e idrati zinco formati in eccesso per condizioni di troppa umidità durante il trasporto o lo stoccaggio. Grosse macchie di ruggine bianca vanno eliminate mediante spazzolatura, perché essi favoriscono la formazione di carbonati di zinco che diminuiscono la vita del manufatto, specialmente se è posto in ambienti umidi, altrimenti, la ruggine bianca si dissolve naturalmente con l'esposizione nell'ambiente e non compromette la funzione della zincatura. Le più recenti normative di collaudo della zincatura in tema di corrosione riportano quanto segue: "L'eventuale formazione di macchie da ritenzione di umidità formati durante il

magazzinaggio in ambienti umidi dopo la zincatura non sono causa di non accettabilità del materiale"

## LE CONDIZIONI SUPERFICIALI

Uno dei requisiti indispensabili per ottenere una perfetta zincatura è la pulizia del manufatto. Il materiale non deve presentare macchie di colore, olio, vernice, grasso o scorie di saldatura. Tali sostanze non vengono eliminate nemmeno con il decapaggio, compromettendo la buona riuscita della zincatura. E' quindi necessario:

- ▶▶ eliminare anche la minima traccia di colore;
  - ▶▶ eseguire la pulizia mediante bruciatura delle parti laccate;
  - ▶▶ eliminare l'olio e il grasso dalle superfici; la presenza di grasso sviluppa gas durante la zincatura impedendo così l'adesione dello zinco e può provocare la deformazione o scoppio delle parti unite.
- Si consiglia inoltre di asportare le scorie di saldatura con sabbiatura e scalpellatura poiché resistono all'acido e non consentono una perfetta ed omogenea zincatura. Per proteggere filettature, forature o raccordi filettati presenti nei vostri manufatti si può adottare un semplice accorgimento: avvolgere intorno alle parti del nastro isolante in tela (tipo telato, 2-3 strati strettamente avvolti). A zincatura avvenuta, il nastro potrà essere facilmente rimosso con una spazzola metallica.

## LE SALDATURE

Nella costruzione di carpenteria formata da pezzi saldati insieme si raccomandano saldature solide e continue; questo accorgimento è necessario sia per la sicurezza dello zincatore che per la garanzia di una zincatura perfetta ed omogenea. Manufatti con saldature a tratti o a punti possono subire delle infiltrazioni di acido di decapaggio e lo zinco fuso non può

penetrare nei punti difettosi: di conseguenza ,anche dopo un meticoloso processo di immersione, la zona non ricoperta in modo omogeneo verrà successivamente attaccata dalla ruggine. Pezzi fra loro sovrapposti devono essere uniti da una saldatura continua e ben ripulita dalle scorie con l'aggiunta di un foro passante su una sola delle superfici per consentire lo sfiato degli eventuali gas, onde evitare deformazioni.

## I MATERIALI

L'acciaio usato per la costruzione dei manufatti sottoposti al processo di zincatura a caldo dovrà essere adatto e di buona qualità, in quanto la composizione chimica del metallo ha un'influenza diretta sul risultato qualitativo ed estetico finale. Quest'ultimo è influenzato notevolmente dalla presenza nell'acciaio di differenti percentuali di elementi come il silicio (Si), il carbonio (C), il fosforo (P): questi elementi tendono ad aumentare lo spessore dello strato di lega Fe-Zn, con il risultato di ottenere superfici più o meno brillanti. La superficie dei manufatti formati da pezzi di acciaio di diversa composizione può apparire differente anche se i tempi di permanenza del bagno di zinco sono stati gli stessi; questa differenza si può riscontrare anche tra acciai prodotti con diversi metodi (laminazione, estrusione, fusione, ecc.) o tra materiali con diversa rugosità della superficie. Si consiglia quindi al cliente di effettuare, eventualmente, delle prove con alcuni campioni, ricordando comunque che il diverso aspetto della superficie non ha alcuna influenza sulla qualità e la durata della zincatura stessa. E' preferibile unire acciai particolari o ghisa con laminati normali solamente dopo la zincatura. Questo perché mentre i pezzi in ghisa non richiedono una lunga permanenza in bagno di decapaggio, l'acciaio necessita di tempi più lunghi. Quindi se i pezzi fossero uniti sin dall'inizio il getto di ghisa subirebbe un eccessivo decapaggio e verrebbe corrosivo dall'acido troppo in profondità, mentre il particolare in acciaio verrebbe decapato solo parzialmente.

## MANIPOLAZIONE E STOCCAGGIO

Per facilitare la manipolazione degli articoli in zincheria è necessario consegnare in manufatti seguendo particolari indicazioni:

▶ praticare un foro su tutti i pezzi (almeno di 4 mm), anche su quelli di piccola dimensione. I manufatti devono essere provvisti di fori per permettere l'agganciamento del pezzo ad un filo di ferro durante l'immersione nel bagno di zinco;



▶ per zincare manufatti di grandi dimensioni (es. caldaie, cisterne) è importante saldare sul pezzo alcuni anelli di sollevamento, questo faciliterà oltre che la zincatura anche il carico, lo scarico e il trasporto;

▶ consegnare in zincheria il materiale riunito in legacci o pacchi suddivisi per tipologia; non inviare materiale sciolto o alla rinfusa, ma inserirlo in contenitori o bancali a rendere, che devono essere preventivamente tarati. Per consentire un rapido scarico con un comune carrello elevatore è indispensabile frapporre tra il pianale dell'automezzo ed il materiale

dei travetti di sezione minima di 120 x 120 mm. Il peso di ciascun pacco non deve superare i 6000 kg (6 t). Per evitare che materiali minuti (ad esempio ferma cancelli, serrature, cardini, rosette) appartenenti ad un unico manufatto vengano smarriti o scambiati con particolari simili è preferibile assicurarli fra loro con un robusto filo di ferro. Gli articoli zincati dovranno essere maneggiati con funi di canapa o imbracature di cotone, per evitare danneggiamenti al rivestimento; da evitare funi di acciaio e catene. Per evitare una anomala ossidazione e la formazione di carbonato basico di zinco (ruggine bianca), il materiale deve essere conservato in ambienti asciutti e bene aerati, occorre evitare inoltre il contatto tra i pezzi, distanziandoli con l'ausilio di legni puliti e non resinosi.



Il materiale non deve venire a contatto con polveri di ferro, molature, schegge e proiezioni da smeriglio e ossitaglio, in quanto questi elementi, depositandosi sulla superficie zincata, possono produrre ruggine e rovinare l'aspetto estetico del manufatto zincato.

### CONFRONTO TRA ZINCATURA A CALDO E ALTRI TIPI DI PROTEZIONE

La tabella ci indica i grandi pregi che la zincatura a caldo può vantare nei confronti di molti altri tipi di rivestimento:





zincatura a caldo	altri rivestimenti metallici	vernici
ben legata all'acciaio	non si legano all'acciaio	rivestimento separato
lunghissima durata	durata variabile	durata variabile
protegge elettrochimicamente	senza protezione elettrochimica	senza protezione elettrochimica
eccellente resistenza ai danni	buona resistenza ai danni	scarsa resistenza ai danni
eccellente resistenza alle abrasioni	buona resistenza alle abrasioni	scarsa resistenza alle abrasioni
facilissima da ispezionare	a volte difficili da ispezionare	abbastanza facili da ispezionare
molto economica	non sempre economici	abbastanza economiche
non tossica	possono essere tossici	possono essere tossiche

Andiamo ora a confrontare il processo di zincatura a caldo con la zincatura elettrolitica, cosa che ci permette di trarre alcune interessanti valutazioni. Dal punto di vista economico, a prima vista, sembrerebbe avvantaggiato il processo elettrolitico a causa del minor consumo di zinco rispetto al processo termico, man mano però che il tempo passa, la zincatura a caldo riesce ad ammortizzare molto bene il disavanzo iniziale grazie a costi di manutenzione quasi trascurabili.

La zincatura a caldo da inoltre una protezione molto più sicura grazie a diversi aspetti:

- ▶▶ gli spessori del rivestimento sono molto maggiori, possono infatti superare anche i 150 micron, mentre il processo elettrolitico riesce a dare al massimo alcune decine di micron);
- ▶▶ in secondo luogo, la zincatura a caldo è in grado di dare, grazie alla natura del processo, una continuità pressoché assoluta (sia sulle superfici interne che esterne), mentre il processo elettrochimico, come la maggior parte degli altri processi, non è in grado di darla;
- ▶▶ la zincatura a caldo dà vita ad un rivestimento che è legato metallurgicamente al substrato garantendo così ottime proprietà di resistenza agli urti e all'abrasione, cosa che il processo elettrochimico non è in grado di fornire.

## SICUREZZA - INFORMAZIONI

Nel processo di zincatura a caldo si utilizza zinco fuso a circa 450 °C; tale procedimento può essere pericoloso, gli zincatori conoscono tali rischi ed istruiscono il personale sulle misure di sicurezza da adottare, non possono tuttavia verificare la progettazione dei lavorati in acciaio consegnati loro dai clienti e, dunque, ispezionano attentamente tali oggetti per assicurarsi che sia possibile zincarli senza correre rischi. Tuttavia, è preferibile pensare alla sicurezza già in fase di progettazione piuttosto che al momento dell'ispezione. I progettisti ed i costruttori hanno la responsabilità di pensare alla sicurezza dei loro colleghi zincatori.

Le misure di sicurezza da adottare sono le seguenti:

- ▶▶ applicare sempre i fori di sfiato e di scarico;
- ▶▶ non trattare mai sezioni cave senza sfiati;
- ▶▶ consultare lo zincatore in caso di dubbio;
- ▶▶ considerare le misure di sicurezza già in fase di progettazione;
- ▶▶ ricordare che le esplosioni in un impianto di zincatura possono causare lesioni mortali.

Il prodotto zincato viene ispezionato presso la zincheria; molti impianti di zincatura sono certificati UNI EN ISO 9001 e

rimuovono le sbavature e le sporgenze affilate riscontrate durante l'ispezione. Rispetto ad altri metalli, lo zinco è relativamente morbido, possono comunque formarsi sbavature o sporgenze affilate che possono causare ferite anche gravi.

## SICUREZZA - MISURE DA ADOTTARE

Le misure di sicurezza da adottare quando si maneggia l'acciaio zincato sono le seguenti:

- ▶ non toccare mai l'acciaio appena zincato a mani nude;
- ▶ indossare guanti da lavoro di buona qualità per maneggiare l'acciaio appena zincato;
- ▶ ispezionare l'acciaio per verificare che non vi siano sbavature o sporgenze affilate prima di procedere ulteriormente;
- ▶ rimuovere le sbavature e le sporgenze affilate con una lima a grana grossa.

## SICUREZZA - TAGLIARE LA SALDATURA SENZA PERICOLI

È possibile tagliare e saldare l'acciaio zincato in modo sicuro, seguendo le normali precauzioni adottate per queste operazioni. La precauzione più importante è quella di non inalare i fumi di zinco che si formano quando si taglia a fiamma o si salda ad arco l'acciaio zincato. Non è necessario prendere ulteriori precauzioni oltre a quelle che generalmente sono previste per l'aerazione del luogo di lavoro e per evitare di inalare i fumi di saldatura.

Le misure di sicurezza riguardo al taglio e alla saldatura dell'acciaio zincato sono le seguenti:

- ▶ rimuovere il fumo dal luogo di saldatura;
- ▶ aerare accuratamente il luogo di lavoro;
- ▶ non inalare mai il fumo che si crea sopra il taglio o la saldatura;
- ▶ consultare il medico nel caso sia stato inalato troppo fumo.

La zincatura a caldo consiste in un rivestimento di zinco legato alla superficie dell'acciaio. Lo zinco, tuttavia, si scioglie ad una temperatura piuttosto bassa, a circa 420 °C e giunge ad ebollizione a 907 °C; tali temperature sono molto inferiori rispetto a quelle della fiamma ossidrica o del punto di saldatura, pertanto lo zinco evapora, così come avviene per l'acqua a 100 °C. C'è però una differenza sostanziale tra lo zinco e l'acqua, perché, quando l'acqua evapora, il vapore si condensa di nuovo in acqua, mentre quando evapora lo zinco, reagisce velocemente con l'aria e si forma l'ossido di zinco, che è precisamente il denso vapore bianco visibile.

## SICUREZZA - I FUMI DI ZINCO

Lo zinco assorbito dall'apparato circolatorio viene espulso rapidamente attraverso le urine, possono tuttavia riscontrarsi sintomi influenzali acuti per circa 24 ore prima che il corpo si liberi dello zinco in eccesso, la cosiddetta "febbre da zinco"; il recupero dai sintomi della fase acuta avviene comunque velocemente. Numerose ricerche di tipo scientifico e medico dimostrano che lo zinco è un elemento fondamentale per la salute e che, in generale, i rischi sono maggiori in caso di carenza piuttosto che di eccesso. È risaputo che lo zinco svolge un ruolo importante in alcuni aspetti dell'attività cerebrale e del trasferimento genetico. La dose di zinco che si consiglia di assumere giornalmente alle persone adulte in buona salute attraverso gli alimenti è compresa tra 8 e 17 mg in funzione del peso e del sesso. Effettuando, ad esempio, una saldatura lunga un metro e distruggendo il rivestimento di zinco per un larghezza di 15 mm, lo zinco evaporato sarà pari a circa 20 grammi. Naturalmente, non è possibile inalare il 100% del fumo di zinco, ma l'esposizione potenziale inalando soltanto una piccola quantità supera di gran lunga l'assunzione giornaliera consigliata, che, inoltre, viene immessa nell'organismo nel modo sbagliato. È meglio non correre rischi !

---