

Cause e soluzioni alla corrosione precoce delle casse di zinco tumulate

di Dr.ssa B. Bassi (*) e Prof. Vincenzo Risolo (*)

Premessa

I problemi di corrosione anticipata delle casse mortuarie di zinco con conseguente fuoriuscita di liquidi cadaverici e miasmi, verificatisi in molti cimiteri ha messo in evidenza i molteplici problemi che ne derivano: problemi di ordine sanitario, etico-morale, ed economico.

L'oggetto di questo studio (molto più complesso ed articolato rispetto a quanto verrà descritto nel presente articolo) è stato l'individuazione delle cause di corrosione precoce delle casse di zinco con conseguente fuoriuscita di miasmi e di liquami cadaverici da avelli e l'individuazione delle possibili soluzioni per risolvere il fenomeno. Sono state formulate diverse ipotesi di lavoro e tutte ampiamente verificate.

Metodologia della ricerca e descrizione delle prove

La metodologia utilizzata è stata di carattere strumentale, di laboratorio e fotografica, al fine di ottenere dei risultati il più scrupolosamente attendibili:

- Analisi strumentali sulle strutture murarie, sui materiali costituenti le casse di zinco e di legno, analisi dei processi di lavorazioni.
- Analisi chimiche del liquido cadaverico e dei laminati di zinco
- Estimolazione di una salma per prelievo campioni e verifica dati.
- Comparazione dei risultati con studi teorici descritti in letteratura

Si tralasciano, per ragioni di spazio, le descrizioni relative alle altre ipotesi formulate, che in fase di verifica hanno dimostrato di non interferire col problema in oggetto, per procedere alla sola descrizione della causa determinante la corrosione. Tuttavia, lo studio completo è a disposizione di coloro che, interessati alla soluzione di tale problema, ne faranno richiesta.

Direzione di inizio della corrosione

È stato analizzato in più punti uno spezzone di zinco piuttosto ampio con lente di ingrandimento e microscopio. In corrispondenza dei fori è praticamente impossibile stabilire da dove sia partita la corrosione e questo si giustifica col fatto che una volta avvenuta la perforazione, la corrosione procede in modo esponenziale, favorita anche dalla presenza, su entrambe le superfici, di liquido organico, misto a sostanze con le quali sono stati trattati i cadaveri prima della tumulazione (ad esempio la formalina). In corrispondenza di alcune corrosioni perforate, la maggior superficie di corrosione è nella parte interna e questo può trarre in inganno per quanto concerne la direzione dell'inizio della corrosione. Detto fenomeno è spiegabile con il fatto che il pH acido del liquido organico è un agente che favorisce la corrosione stessa che però trova le sue origini in cause diverse dal contatto con i liquami cadaverici. Nei punti dove la corrosione non ha ancora raggiunto la perforazione è più che evidente, in qualche caso macroscopico, l'inizio della stessa dalla parte esterna: mentre l'esterno della cassa presenta corrosione diffusa, la parte corrispondente interna appare intatta.

Corrosione elettrochimica

Per circa 4 mesi sono state eseguite numerosissime rilevazioni della DDP (differenza di potenziale) fra le parti metalliche sporgenti di diversi quadri del cimitero posto sotto osservazione per l'esecuzione dello studio.

Si mette in particolare rilievo che la resistività del calcestruzzo *umido* non differisce praticamente da quella di un normale terreno, pertanto tutte le ricerche relative alla corrosione metallica si sono ampiamente ispirate alle tecniche già sperimentate per le condotte metalliche interrato.

Tali rilevazioni sono state eseguite nelle più disparate condizioni atmosferiche, cioè in condizioni diverse di umidità temperatura, esposizione solare, orari (tenuto conto, nel caso in esame, anche dei passaggi dei treni a qualche km di distanza e dei passaggi di filobus a poche centinaia di metri). Come ampiamente descritto in letteratura la DDP varia in rapporto alla variazione del pH che a sua volta è fortemente influenzato dalla temperatura. Minore è il pH, maggiori sono le probabilità di corrosione. A titolo esemplificativo si ricorda che la letteratura specializzata consiglia di non usare materiali metallici in presenza di un pH inferiore a 4 perché non esistono protezioni efficaci contro la corrosione.

Da ultimo, a puro titolo orientativo si riporta dal Weiber *“La protection des conduites souterraines contre la corrosion”*, dicembre 1948, una serie di valori medi dei potenziali naturalmente assunti da strutture metalliche interrato, misurati rispetto ad un elettrodo impolarizzabile al solfato di rame, posto alla superficie del suolo:

METALLI	d.d.p. in volt
Magnesio	-1.6
Zinco	-1.1
Acciaio	-0.75
Acciaio ossidato	-0.5/-0.6
Ghisa	-0.5/-0.6
Piombo	-0.45/-0.55
Ferro di cemento armato	-0.4

Ripetiamo che tali dati vanno considerati come semplici valori medi.

Tutte le rilevazioni eseguite hanno confermato una DDP costante (questo esclude interferenze di linee filotranviarie e ferroviarie) che determina un ambiente corrosivo, cioè le DDP misurate sono più vicine allo 0 di quanto la situazione di equilibrio consenta.

Si ricorda che quasi la totalità dei casi di corrosione spontanea rientra nel campo delle corrosioni galvaniche di cui si enumerano le caratteristiche fondamentali:

- Il metallo soggetto a corrosione si trova ad un potenziale superiore a quello di equilibrio rispetto al terreno, potenziale che a volte supera anche il potenziale di scarica degli ioni H⁺. Proprio in questo ultimo caso si hanno le corrosioni più gravi, mancando ogni effetto polarizzatore della pellicola di H e verificandosi una migrazione intensa di ioni metallici, in conseguenza del valore elevato rispetto a quello di equilibrio.
- Le corrosioni si verificano nelle zone dove le correnti sono dirette dal metallo al suolo, cioè nelle zone anodiche.
- Il peso del metallo corrosivo è proporzionale agli ampere-ora passati. La seguente tabella riporta per alcuni metalli il peso corrosivo per il passaggio di 1 ampere/ora/anno e corrispondentemente la diminuzione di spessore di una superficie metallica per il passaggio di 1 ampere/anno/m²:

METALLO	Peso corrosivo Kg	Diminuzione di spessore in mm
Magnesio	3.80	2.18
Alluminio	2.95	1.1
Zinco	10.65	1.48
Ferro	9.11	1.16
Piombo	33.95	3.00
Rame	10.40	1.17

I casi presi in esame paiono assimilabili a quello di una cosiddetta pila a concentrazione.

Nonostante l'uguaglianza dei metalli (la quantità di zinco sovrasta in modo significativo la presenza di altri metalli presenti all'interno degli avelli e costituiti da chiodi, viti, borchie, maniglie di materiali diversi) è sufficiente la differenza degli elettroliti (variazioni di umidità in relazione alla temperatura ed alle condizioni atmosferiche) a generare una *f.e.m.* (forza elettromotrice) e una conseguente corrente di circolazione che provoca corrosioni nelle zone anodiche.

È stata eseguita una prova di verifica del potenziale di terra della struttura in cemento armato, tramite elettrodo impolarizzabile al solfato di rame in contenitore poroso posto nell'aiuola sottostante gli avelli e le viti in ferro infisse nella struttura per reggere le borchie di bronzo ai lati della lapide di marmo di ogni avello.

La differenza di potenziale misurata è risultata tale da facilitare (in presenza di altre cause) un processo di corrosione metallica. La differenza di potenziale fra due metalli è un fatto naturale, ben descritto nella letteratura specifica, ma i valori registrati sono tali da presupporre un passaggio di corrente.

La differenza di potenziale misurata variava, tra -0,009 e -0,01 V. in Corrente Continua.

Per l'espletamento dello studio è stata estumulata una bara che aveva subito un precedente rivestimento di controcassa in zinco circa un anno prima a causa della corrosione della cassa originaria di zinco con fuoriuscita importante di liquidi cadaverici.

Sono state ripetute, ad avello aperto, le prove di DDP. Il metodo utilizzato è stato identico al precedente (elettrodo impolarizzabile al solfato di rame in contenitore poroso) posto, questa volta, fra la struttura prefabbricata e cassone di zinco. Sono stati rilevati in pratica gli stessi valori di prima dell'apertura (considerata la diversa DDP esistente fra ferro e rame e fra zinco e rame); pertanto è stato confermato un ambiente che agevola (non causa) una eventuale corrosione.

Estratto dal loculo, il cassone presentava sulle pareti laterali, evidenti segni di colature essiccate di colore bianco candido calcificato, presumibilmente effetto di condensa acquosa, che terminavano circa a metàcassone con inizio di corrosione.

Perimetralmente, a partire dal fondo, il cassone presentava una banda di circa 10/12 cm con evidenti segni di umidità indicante il fenomeno corrosivo in ascesa.

Il fondo risultava corroso per circa l'80% con diversi punti di corrosione accentuata e due punti in cui vi erano due fori di circa 12 mm x 40 mm verso la testa e 12 mm x 20 mm verso i piedi.

Sul fondo erano presenti evidenti macchie di "ruggine bianca", che segnalavano l'inizio della corrosione dall'esterno; dato che sarà successivamente confermato dalle verifiche di laboratorio.

Erano presenti macroscopiche tracce di umidità su tutto il perimetro del pavimento dell'avello. Si è proceduto quindi alla rilevazione della DDP fra la struttura muraria e il cassone di zinco fuori dell'avello, che è risultato, come previsto, più isolato rispetto alla situazione precedente. La DDP risultata, soddisfa l'equazione $V = R \times I$.

Infatti, tenendo costante la resistenza dello zinco, ad ogni variazione di V corrisponde una variazione di I , causa principale delle corrosioni metalliche.

È stata poi eseguita una dettagliata analisi dei materiali costituenti la cassa in apposito locale. Sono stati prelevati dei campioni del cassone di rivestimento e dei campioni della cassa di zinco contenuta all'interno della cassa di legno per analizzare la composizione dello zinco ed identificare la tipologia della corrosione.

La bara presentava:

- a) gocce di bitume (utilizzato per rivestire interamente l'avello) sparse sul coperchio (evidente segnale di una alta temperatura all'interno dell'avello).
- b) un inizio di corrosione dovuta presumibilmente a condensa in quanto in quella zona il coperchio presentava una concavità di circa 20 cm per 10 cm.

Dopo l'apertura del cassone si è evidenziato un processo di corrosione in atto di tutte le parti metalliche ubicate sulla cassa. In particolare le maniglie ed il crocifisso risultavano completamente rivestiti di ruggine bianca. Le viti in ferro erano talmente "corrose" da non permettere lo svitaggio

mediante apposito attrezzo, in quanto la sede atta allo scopo si deteriorava immediatamente.

Anche sul coperchio della cassa di legno erano presenti gocce di soluzione bituminosa sempre circa nella stessa posizione del cassone di rivestimento

Sul fondo della cassa era presente un chiodo di ferro ad immediato contatto con la cassa di zinco. La testa del chiodo era in buon stato di conservazione, segno evidente che lo zinco, materiale meno nobile, si era sacrificato al posto del ferro.

Si è proceduto all'apertura della cassa di legno ed all'estrazione della cassa di zinco interna.

Si procedeva all'analisi della cassa di zinco contenente il cadavere, rilevando quanto segue:

- La cassa era di tipo valvolato.
- La cassa di zinco presentava in diversi punti gocciolamenti di condensa acquosa.

La corrosione era di gran lunga inferiore rispetto a quella riscontrata sul cassone di rivestimento (giustificata dalla maggior superficie di contatto del cassone di rivestimento con il pavimento dell'avello, rispetto alla cassa di zinco inclusa nel feretro in legno).

Veniva aperta la cassa di zinco al fine di prelevare un campione dello zinco stesso e si notava che il cadavere, indossava una fede matrimoniale d'oro ed aveva una collana d'oro tra le mani, in perfetto stato di conservazione. Un crocifisso metallico facente parte di un rosario invece era completamente corroso.

Si rilevava immediatamente che la corrosione dei metalli presenti in tutta l'operazione, rispettava fedelmente la tabella della "serie elettrochimica degli elementi".

In particolare si richiama l'attenzione sulla seguente scansione:

- 1) la lega "*volgare*" costituente il rosario nelle mani del cadavere era corrosa al punto da rendere difficoltoso il riconoscimento dell'oggetto.
- 2) lo zinco presentava tratti di corrosione diffusa spesso perforata
- 3) il ferro delle viti e dei chiodi della cassa di legno era corroso nei punti più lontani dallo zinco e molto meno nei punti più vicini.
- 4) L'ottone (lega rame-zinco) era ricoperto di "ruggine bianca", ma non corroso in modo distruttivo (maniglie della bara e crocifisso)
- 5) L'oro (sottoforma di anello e collana) era praticamente intatto.

Conclusioni

Le corrosioni verificate sono di tipo elettrolitico, con conseguente formazione di micropile a concentrazione. Fenomeno che risulta esponenzialmente accentuato per la presenza di liquido organico (dopo che la corrosione ha interessato l'intero spessore della parete costituente la cassa di zinco) e nel caso di innalzamento della temperatura, come può succedere in estate, che abbassa ulteriormente il pH all'interno dei loculi.

Soluzioni proposte

Considerata la ineliminabilità delle caratteristiche ambientali, si è studiata una soluzione alla corrosione anticipata delle casse metalliche di durata temporale variabile, a seconda delle tecniche costruttive, ma comunque superiore al tempo di scheletrizzazione completa di un cadavere.

Tale soluzione è costituita da un dispositivo aggiunto ai normali feretri mortuari di ordinaria produzione secondo il D.P.R. 285/90. Detto dispositivo consta di un quantitativo, da determinare in base alle dimensioni del feretro stesso, di Magnesio (nel caso di casse di zinco) che fungerà da anodo sacrificale nei confronti dello zinco medesimo. Nel caso in cui, sempre in ottemperanza al D.P.R.285/90 si utilizzasse il piombo come elemento costituente la cassa metallica, il metallo sacrificale potrà essere di: acciaio inossidabile, rame-nichel, nichel-argento, bronzi, bronzi al silicio, bronzi al manganese, ottoni, ottoni ammiragliato, ottoni all'alluminio, lega Pb/Sn, rame, stagno, ottone navale, leghe nichel-cromo, ghise al nichel, acciai basso legate, acciai, ghise comuni, leghe di alluminio, cadmio, berillio, zinco, magnesio. In considerazione del fatto che attualmente la quasi

totalità della produzione di casse è effettuata con l'utilizzo di laminato di zinco, si procede alla descrizione, qui presentata, ipotizzando l'utilizzo di un comune feretro di legno con inclusa una cassa di zinco di spessore 0.66 mm come previsto dalla normativa vigente succitata; nulla vieta, comunque di utilizzare laminato di zinco di spessore e/o qualità inferiori (con sensibile diminuzione di costi), previo calcolo del quantitativo di magnesio da inserire. Si tenga inoltre presente che il principio applicativo non varia qualora venga utilizzato, come materiale costituente la cassa metallica, il piombo; varierà in questo ultimo caso, solamente la costituzione dell'anodo sacrificale secondo quanto più sopra detto. Il quantitativo di magnesio da frapporre fra il fondo del cofano mortuario di legno (parte interna) e il fondo della cassa di zinco (parte esterna), è direttamente proporzionale al tempo per il quale si vuole preservare lo zinco dall'azione corrosiva, alla quantità di zinco presente all'interno della cassa di legno, alla qualità del laminato di zinco utilizzato ed alle condizioni elettriche ed ambientali della struttura prefabbricata in cui sono ubicati gli avelli. Il posizionamento del magnesio potrebbe essere effettuato anche all'interno della cassa di zinco, tenendo però presente che il liquido di decomposizione del cadavere, avendo pH particolarmente acido, accelera la corrosione dell'elemento sacrificale.

La forma dell'elemento magnesio, (in barre, tondo, piatto, a nastro, ecc.) potrà essere determinata e disposta all'interno del feretro in legno, a seconda delle esigenze costruttive, tenendo presente, oltre a quanto già sopra specificato, che eventuali flessioni verso il basso della cassa di zinco (dovute ad eventuali deformazioni da aumento della pressione interna nella fase di decomposizione enfiematosa del cadavere), non debbono consentire a quest'ultima di venire a contatto con il legno del fondo della cassa. Il legno infatti essendo igroscopico permetterebbe ad eventuali filetti di corrente di attenuare l'azione sacrificale del magnesio.

Relativamente ai calcoli riguardanti la quantità e la forma del magnesio da inserire, si farà riferimento alle tabelle indicative della perdita di peso corrosivo per il passaggio di un Amper/ora/anno e corrispondentemente la diminuzione di spessore di una superficie metallica per il passaggio di 1 ampere/anno/m².

Sempre ai fini della determinazione di cui sopra si dovrà tenere presente il valore medio dei potenziali naturalmente assunti da strutture metalliche interrate (i cofani mortuari inseriti in avelli facenti parte di strutture prefabbricate, sono ad essi assimilabili) misurate rispetto ad un elettrodo impolarizzabile al solfato di rame, posto alla superficie del suolo.

(*) Consulenti tecnico-meccanici, Parma