

Conservazione e protezione delle opere in ferrodì interesse archeologico o storico-artistico - Parte I

G. Salvago

**REPERTI FERROSI
ED ETICA DELLA CONSERVAZIONE**

Che il concetto di restauro dipenda dal contesto socioculturale e sia permeato da una buona dose di soggettività può apparire ovvio. È infatti difficile per noi condividere il restauro dei monasteri tibetani operato dai cinesi, ma pure restauri eseguiti da noi sono sempre accompagnati da accese polemiche a tutti i livelli. Anche il concetto di conservazione e il problema del perché, cosa e come proteggere si presta ad alcune considerazioni.

Il ferro rappresenta il 5 % della crosta terrestre; si trova combinato in vari composti sia nel regno minerale sia in quello vegetale e in quello animale, si trova infatti praticamente in tutte le rocce e nei terreni, in molte acque minerali e nel particolato atmosferico; fa parte dell'emoglobina, che consente la respirazione dei vertebrati ed è necessario per la formazione della clorofilla, che consente la fotosintesi clorofilliana; entra nel metabolismo dei ferrobatteri che possono dare luogo a rocce sedimentarie (piriti terziarie).

Come metallo, il ferro costituisce probabilmente il nucleo della Terra assieme al nichel, ma sulla crosta della Terra compare allo stato metallico solo con origini o extraterrestri, come nel caso del ferro meteorico, o antropiche.

Tra i reperti in ferro più antichi potrebbero annoverarsi quelli che pare essere stati ritrovati nella tomba A di Samara in Iraq e fatti risalire al 6000 a.C., tre globetti ritrovati a Tape Sialk in Iran (5500-5000 a.C.), alcune perline ed un anello dai sepolcri di El Gerzeh e di Arment in Egitto (3500 a.C.). In Turchia ad Alaca Huyuk sono state ritrovate tombe fatte risalire al III millennio a.C. con oggetti in ferro sia meteorico che da minerali e nei livelli Ittiti dello stesso sito fatti risalire alla seconda metà del II millennio, anche armi in ferro. Nella Bibbia si riporta che ai tempi di Lamec: "Zilla a sua volta partorì Tubalkain, il fabbro istruttore di quanti lavorano il rame e il ferro" (Genesi IV, 22) che si diffusero poi, ai tem-

**La fucina di Vulcano
(Vulcano tempera le
frecce ad Amore)
Alessandro Tiarini
(Bologna 1577-1668).**



pi della Torre di Babele su tutta la terra (Genesi XI, 1-9) Ed in effetti verso la fine del II millennio o all'inizio del I millennio a.C. la conoscenza di come trarre il ferro dalla terra tramite la magia del fuoco sembra diffusa in tutta la civiltà indoeuropea. Il ferro non veniva portato a fusione, era solo un massello poroso pieno di scorie e terra non reagita. Probabilmente le sue potenzialità non furono immediatamente comprese, tanto che nelle costruzioni etrusche fino al V secolo a.C. i chiodi sono ancora in bronzo. Tuttavia, come l'uomo impara a battere il ferro, a forgiarlo, inizia la nuova produzione di più resistenti punte di lance, asce, coltelli e fermagli, ferri di scure, fibule. La civiltà greca, nel contempo, forse per giustificare successi ed insuccessi della nuova tecnica, crea una ulteriore divinità: Efesto ("ardente", Vulcano per i latini), il fabbro ferraio figlio di Zeus ed Era e forgiatore delle armi di Enea e di Achille. Presso i romani, le caratteristiche meccaniche del ferro erano enfatizzate dal suo utilizzo: l'aratro era chiamato "ferrum", segno evidente dell'importanza che veniva data al metallo che ne

ricopriva la punta (o chiodo) che sarchia il terreno. Lucrezio (99-54 a.C.) nel suo "De rerum natura" ci racconta: "Più tardi fu scoperta la forza del ferro e del bronzo...[V, 1288]. In seguito apparve man mano la spada di ferro e cadde in disuso la foggia della bronzea falce...[V, 1293-4]. Le vesti furono intrecciate prima che tessute, i tessuti seguirono la comparsa del ferro poiché i teli si preparano con il ferro né possono altrimenti prodursi gli arnesi levigati adatti, le spole, i fusi, i risonanti telai [V, 1350-53]".

Utensili da cucina in ferro stagnato sono menzionati da Plinio come esistenti prima del 23 d.C. La corazza dei romani, dapprima costituita da una doppia lamina di bronzo (lorica), si arricchisce con elementi di ferro (lorica ferrea) e passa quindi a elementi metallici su strisce di cuoio (lora). Nel XII secolo si fa già largo uso della corazza in maglia di ferro. Dante nella sua Divina Commedia menziona, come realizzati in ferro, il vomere dell'aratro, le armi bianche, le caldaie, le lime e i martelli. Sempre nel XIV secolo, nelle armature compaiono oltre all'elmo, elementi a piastre come i ginocchietti, le

Gabriele Salvago
Politecnico di Milano

Dagli atti del Corso
"Scuola di metallografia per operatori di beni culturali"
organizzata dal centro Storia della Metallurgia,
Genova, 30 giugno-2 luglio 2004

schiniere, il cosciale, le cubitiere, elementi a lamina articolate come lo spallaccio, elementi tronco-conici come le manopole. Sorgono anche le prime bombarde, cannoni primitivi costituiti da doghe in ferro e cerchiati. L'architettura gotica può realizzare le sue tipiche costruzioni molto sviluppate in altezza e con ampie finestrate grazie all'utilizzo di tiranti e rinforzi in ferro che possono sopperire all'indebolimento delle murature.

I primi ferri battuti con finalità estetiche in Europa sono probabilmente quelli utilizzati per ornare le porte delle cattedrali inglesi, francesi e spagnole tra i secoli XII e XIII. Solo nel XIV secolo il ferro battuto artistico si diffonde in Italia, e soprattutto in Germania, per la realizzazione di cancellate, ferrature di porte e armadi, cofani, mensole, picchiotti, alari. Nel XV secolo per balconi, lanterne, nonché armi e armature che divennero sempre più vere e proprie espressioni artistiche in particolare nel XVI secolo. Ma la metallurgia continua ad essere considerata un rituale magico, alchemico, ai metalli si danno nomi derivanti dall'astrologia, ma non casuali: l'oro è il Sole, unico metallo che nel fuoco non si consuma ma si purifica, il rame Venere, l'argento la Luna, il ferro Marte, lo stagno Giove, il piombo Saturno, l'hydrargyrum (Hg, l'argento acquoso dei Latini) è ancora oggi Mercurio, il pianeta più vicino al sole e capace di scioglierlo per dare l'amalgama. Ancora oggi miti e realtà possono permanere confusi; ad esempio la Corona Ferrea di Monza che la tradizione fa risalire a Carlo Magno (800 d.C.) e con la quale furono incoronati molti imperatori del medioevo è nota come composta da placche d'oro adorne di gemme, brillanti e con inserita una lamina che la tradizione vuole in ferro e ricavata da un chiodo utilizzato nella crocifissione di Cristo anche se nella realtà analitica tale lamina è in argento praticamente puro e la datazione della cera d'api utilizzata come componente lo stucco di fissaggio delle gemme fa risalire la corona all'età di Teodorico (500 d.C.).

Storicamente una prima rivoluzione nella metallurgia del ferro si ha quando, con l'evoluzione della tecnica dei forni e del carbone, si riesce a produrre, anziché un massello di materiale solido, un metallo fuso. Ciò comporta la possibilità di riempire delle forme, di utilizzare tecniche derivate dalla metallurgia del bronzo e potenzialità alquanto maggiori, anche se il materiale che si ottiene (ghisa, ferraccio o pig iron), è alquanto fragile. Tutto ciò accade da noi, in Germania, nel XIV secolo mentre in Cina sembra essere accaduto nel Warring States Period (475-221 a.C.). Per un uso strutturale della ghisa nella nostra civiltà bisogna attendere il 1790 quando, negli opifici inglesi ove gli incendi erano endemici, vengono introdotti i primi pilastri in ghisa, il cui

uso si estende rapidamente a teatri e chiese per sostenere le balconate. Nel frattempo a Shieffield si erano affermati vari sistemi di argentatura, e in Francia si diffondevano utensili di ferro zincati. Una seconda rivoluzione nella metallurgia del ferro si ha quando si riesce a produrre un metallo fuso e duttile dopo solidificazione.

In Cina la produzione di ghisa malleabile viene fatta risalire alla Western Han Dynasty (206-24 a.C.), quella di ghisa nodulare alla Northern Wei Dynasty (386-581), la produzione di acciaio da cofusione di ghisa (bassofondente, alto tenore di carbonio) con masselli di ferro ridotto (alto fondente, alto tenore di ossidi, può sciogliersi nella ghisa fusa), viene fatta risalire a Qiwu Huaiwen, vissuto attorno al 550. Il pudellaggio (riscaldamento, "puddling" in inglese, decarburazione della ghisa per rimescolamento all'aria su ossidi di ferro in forni a riverbero) o comunque l'ottenimento di acciaio per decarburazione della ghisa, viene fatto risalire in Cina alla Han Dynasty (206-220 a.C.).

In Inghilterra Henry Cort breveta il pudellaggio nel 1783 e Bessmer breveta il suo convertitore, ove l'aria viene insufflata nel metallo fuso, nel 1860.

Siamo in piena rivoluzione industriale, l'acciaio sostituisce il legno come materiale strutturale, si lamina, si trafia, si costruiscono ponti sospesi, macchine di tutti i tipi e giocattoli di latta (ferro stagnato), l'acciaio sostituisce il bronzo nell'artiglieria.

Nel 1874 viene brevettato negli Stati Uniti il filo di ferro spinato e nel 1892 viene brevettato il calcestruzzo armato. L'elettrodeposizione aumenta la gamma delle caratteristiche estetiche, meccaniche, delle superfici ottenibili, tramite rivestimenti metallici a freddo: nobili, rame, stagno, nichel, cadmio, zinco e cromo; in seguito aumenta anche la gamma delle tecniche di deposizione fino alle nanotecnologie di oggi.

Nel campo degli acciai, si osserva lo sviluppo di leghe che vanno al di là del solo ferro-carbonio, come gli acciai Cor-ten, gli acciai inossidabili, le superleghe di ferro e anche leghe a memoria di forma. Nel contempo la tecnica diviene sempre più tecnologia, il prodotto non è più partito di un singolo operatore e traduzione del suo modo di rapportarsi al mondo, ma appare sempre più opera di un gruppo alquanto variegato organizzato, per lo più, a fini di lucro. La "produzione" sostituisce l'"opera" negli obiettivi, la paternità del disegno (design), si riduce ad indicare il firmatario dell'opera intellettuale che antecede a quella materiale. Oggi siamo in una civiltà post-industriale. Si osserva un grande sviluppo dell'informatica più come crescita tecnologica che scientifica, e la comunicazione tende a convertirsi da comunicazione tra

persone a comunicazione tra macchine. L'uomo da "homo sapiens" tende a divenire "homo technologicus", incapace di vivere senza le protesi artificiali che si è creato. Basti pensare agli effetti degli scioperi nei trasporti o dei black out di energia. La scienza non riesce a seguire lo sviluppo tecnologico e si creano pertanto problemi etici, quali quelli relativi alla procreazione assistita o alla clonazione umana. Si osserva la globalizzazione delle produzioni e dei mercati, ma il rapporto tra uomo ed economia è ribaltato, da un'economia al servizio dell'uomo, si è passati a un uomo al servizio dell'economia con un rapporto uomo/economia quasi religioso. I confini, gli stati e le religioni sono alquanto variegati sulla crosta terrestre e si creano pertanto forti tensioni verso guerre di religione, come nei tempi più antichi. Il manufatto, l'opera d'arte, sono espressione del modo col quale l'autore osserva, interpreta il mondo o si relaziona, si "re-liga" al mondo, ossia è frutto della sua "religione", espressione che, intesa nella sua accezione più ampia, comprende il pensiero filosofico, tende semplicemente a definire il nostro ruolo nel mondo e a fornire un progetto di vita, senza necessariamente ipotizzare un Dio creatore. La sacralità di un'opera è quindi soggettiva, legata sia alla nostra capacità di sentire, o se vogliamo alla profondità della nostra fede, sia alle affinità tra la nostra religione e quella dell'autore dell'opera.

Anche i concetti di "eternità" e "divenire" sono concetti filosofici "religiosi" alquanto variegati e soggettivi. Troviamo pertanto da un lato costruzioni, opere d'arte lapidee con un evidente desiderio di immortalità (dolmen, piramidi, moai, grande muraglia cinese), dall'altro opere plasmate coscientemente con materiali capaci di disgregarsi assai rapidamente. Basti pensare alle nostre costruzioni infantili con la sabbia o con la neve, alle opere d'arte "mature", in sabbia (<http://www.worldofsand.net/>), in ghiaccio (<http://www.ghiacciодarte.it/>), o "sacre", ancora in sabbia come presepi e mandala, o in burro come le sculture della cultura tibetana (<http://www.girodivite.it/>), basti pensare anche ad un semplice mazzo di fiori freschi.

Secondo Eraclito di Efeso (540-480 a.C.) l'universo è lo svolgersi incessante di contrari in lotta tra loro. Quando si estingue un contrario, ne vive un altro e la morte di questo è il ritorno del primo all'esistenza; il "divenire" è pertanto essenziale al mondo.

Nell'ateismo di Epicuro (341-270 a.C.) e di Lucrezio (99-55 a.C.), il "divenire" viene meno e non esiste neppure un aldilà che eviti un processo perpetuo di dissoluzione delle cose. Non solo il corpo, ma neanche l'anima sarebbe immortale.

Anche nella filosofia buddista, l'anima

non sarebbe immortale in quanto la rinascita non viene intesa come trasmigrazione dell'anima, ma come neoformazione dell'individuo determinato dalla sua "tanha" (brama di vita) e dal suo "karma" (effetto di azioni e pensieri antecedenti).

Le religioni che affermano l'esistenza di un Dio creatore onnipotente ed eterno, non suppongono però l'immortalità delle cose terrene. Nel sermone della Montagna, Gesù disse agli Apostoli: "Non accumulate tesori sulla terra, ove la ruggine e la tignola consumano e dove i ladri scassinano e rubano" (Matteo 6, 19).

L'esperienza ha inoltre evidenziato fattori di degrado ben più efficaci della ruggine, come ad esempio ogni tipo di guerra di religione, guerre economiche, rivoluzioni culturali, attentati, ma anche insensibilità, come quando si lascia saccheggiare il Museo della Mesopotamia (di Bagdad) o si consentono le tante varianti in corso d'opera nelle cosiddette ristrutturazioni conservative.

Da un punto di vista ecologico si dice spesso che la natura non produce rifiuti, intendendo con questo sottolineare il fatto che i cicli naturali sono tendenzialmente dei cicli chiusi.

Se considero un manufatto in ferro, questo è un prodotto antropico sia come manufatto che come materiale, e il ferro (metallico) si inserirebbe un po' da estraneo in un ciclo naturale del ferro. Un'opera in ferro che si conservasse "per sempre" uscirebbe dai cicli naturali e apparirebbe come "rifiuto".

Appare pertanto lecito chiederci se, e nel caso, perché e come, tentare di conservare un reperto in ferro.

La risposta è ancora frutto della nostra "religione", sempre intesa nella sua accezione più ampia. Può destare sgomento o trovare giustificazione a seconda del contesto "religioso", sia la distruzione a colpi di fucile prima e di mortaio poi dei Budda di Bamiyen, sia l'abbattimento (non la rimozione) delle statue di Saddam a colpi di paranco.

Si può ritenere che nella nostra cultura occidentale il desiderio di conservare i reperti del passato derivi da bisogni inconsci, quali:

- quello di sentirsi radicati nel tempo e nella storia che ci hanno preceduto per smitizzarli e appropriarsene, esorcizzando il buco nero che abbiamo alle spalle e trasformandolo in vita conosciuta e, di più, posseduta attraverso i reperti. E' un modo per ancorarsi in questo mondo, cercando di svelarne il mistero e di dare una risposta agli interrogativi perenni che l'uomo si pone (chi siamo, da dove veniamo, dove andiamo);
- quello della continuità, che ci dà concretezza e stabilità; noi siamo nel trascorrere del tempo e degli eventi;
- quello delle anime belle che vogliono

inserirsi nel flusso della storia, ammirando e toccando oggetti carichi del fascino del passato.

Alla formazione del desiderio di conservazione possono concorrere anche altre cause più legate alla "razionalità" quali il piacere estetico, il piacere dell'intelligenza storica che ama conoscere e scoprire, il piacere dell'uomo che nel possesso di oggetti del passato esteriorizza il proprio bisogno di avere e mostrare potere e ricchezza.

Da un punto di vista metallurgico, un reperto in ferro potrà essere più o meno corrosivo, più o meno funzionale, corrispondere più o meno alla sua forma originaria. Generalmente lo si può (grossolanamente) considerare costituito da quattro parti, anche non sempre tutte presenti o in rapporti assai diversi tra loro:

- una parte "metallica" (con le sue inclusioni di ossidi, carbone, minerali);
- una parte di metallo mineralizzato (prodotti di corrosione);
- incrostazioni derivanti dall'ambiente (terreno, incrostazioni calcaree, incrostazioni micro e/o microbiologiche, pitture);
- materiale non metallico (cuoio, legno, colle, tessuti e altro) facente originariamente parte dell'opera.

Gli obiettivi tecnici che si possono perseguire sono diversi, ad esempio:

- recuperare la parte metallica e quella mineralizzata come materia prima metallurgica. La storia è piena di esempi di tali "ricicli". Il ferro si presta a essere riciclato e rifiuto come materia prima più pregiata del minerale originario;
- ripristinare le funzionalità dell'opera e utilizzarla per la sua funzione, particolarmente importante nel caso che l'opera in ferro sia ausiliaria ad una più complessa (armature di statue, di edifici). In tal caso, la parte mineralizzata e le incrostazioni andranno separate, la conservazione della parte metallica rimanente rientra nei problemi corrosivistici classici;
- sfruttare le caratteristiche estetiche dell'opera tal quale o dopo restauro con asportazione variabile della parte mineralizzata e delle incrostazioni e con eventuali ripristini e aggiunte alla parte rimanente. L'opera può poi essere conservata singolarmente o anche inserita in opere estetiche più complesse come in alcuni esempi di "Arte Povera". La conservazione risulta più problematica di quella relativa al solo metallo a seguito delle interazioni tra metallo, parte mineralizzata, incrostazioni, restauro e ambiente di conservazione, e richiede un approccio olistico al problema. Può risultare pregevole e non velleitario l'obiettivo di proteggere l'opera in modo che possa restare nel luogo di origine senza essere blindata in un museo e preservare le tracce della sua storia, della sua utiliz-

zazione e delle trasformazioni prodotte dal tempo;

- utilizzarla come fonte di informazioni. Questo obiettivo non è in contrapposizione con i precedenti. Informazioni sono contenute sia nella parte non metallica che nelle incrostazioni e nella parte mineralizzata e non solo nella parte metallica.

Per il ferro e per i metalli in genere non sono attualmente note tecniche di datazione assoluta. La datazione tra il 3350 e 3120 a.C. dell'ascia in rame a margini rialzati dell'uomo del Similaun è stata resa possibile dalla presenza accanto all'ascia metallica del materiale organico (la mummia) suscettibile di datazione al C14 e in tal senso la presenza di un qualsiasi materiale organico (pollini, cere, colle ecc.) può risultare estremamente preziosa, la datazione assoluta di una fusione può essere consentita anche dalla presenza di residui di terre di fusione databili per termoluminescenza. La morfologia delle patine, così come dei prodotti di corrosione è legata anche al tempo impiegato per la loro formazione, alla stessa stregua degli anelli di accrescimento degli alberi, e può garantire l'autenticità di un reperto. Particolari, anche microscopici, del disegno possono consentire di distinguere tra lavorazioni manuali e a macchina. La morfologia della fase "metallica" consente di risalire al tipo di lavorazione. Le analisi chimiche, oggi possibili nel dettaglio più minuto, sia delle inclusioni che del metallo ed eventualmente la sua composizione isotopica possono risultare caratteristici delle origini del minerale e delle tecniche utilizzate nell'ottenimento del materiale metallico.

Un qualunque reperto è un'opera realizzata in un certo contesto socioculturale alla quale si sono sommati un utilizzo e le trasformazioni operate dalle culture successive e dal tempo, realizzando così un libro di storia scritto con i linguaggi della metallurgia, geografia, geologia, biologia, sociologia, psicologia e non solo della corrosione.

E' universalmente accettato che l'osservazione della realtà modifichi la realtà, ma le tecniche di indagine possono essere più o meno invasive così come le tecniche di protezione. Tali tecniche sono numerosissime e continuano a fiorirne di nuove e tutte necessariamente senza garanzie reali per motivi "anagrafici". Il criterio della "rovesciabilità" (impropriamente reversibilità) del nostro intervento dovrebbe essere il criterio principe delle nostre scelte di indagine e protezione.

Non bisogna dimenticare che le informazioni possibili, quelle desiderate ed il livello di sacralità che avvertiamo oggi per il reperto sono soggettivi, legati al contesto socioculturale e al particolare momento, e che non ci è consentito generalizzare.

MINERALIZZAZIONE DEL FERRO,
CONSERVAZIONE TEMPORANEA,
ASCIUGATURA E STABILIZZAZIONE
DEI REPERTI

Il reperto può provenire:

- da un ambiente chiuso in atmosfera controllata,
- da un ambiente chiuso all'atmosfera,
- da un ambiente protetto dagli eventi meteorologici,
- da un sito esposto agli agenti atmosferici
- da acque dolci o salate,
- da terreni di varia natura.

E' ben noto che atmosfera, acque e terreni possono risultare aggressivi nei confronti dei materiali ferrosi. Si può tuttavia notare che l'esistenza stessa del reperto è la dimostrazione che l'aggressività dell'ambiente nel quale è stato trovato non è stata tale da cancellarlo completamente. Si potrebbe supporre, a parità di degrado, un'aggressività ambientale tanto inferiore quanto più il reperto è antico.

In realtà, il degrado è il risultato dell'interazione complessa tra l'opera in ferro, il suo uso e l'ambiente nel tempo.

E' noto come le alterazioni dell'ambiente atmosferico, causate sia dall'inquinamento sia da trasferimenti geografici (come per i bottini di guerra, o per gli spostamenti ad opera di collezionisti o anche di semplici turisti), possano avere effetti catastrofici. Anche alterazioni d'uso possono avere effetti deleteri, basti pensare agli effetti della dismissione dall'uso sulle ferrature di una porta, particolarmente su opere complesse come automobili, navi.

Ambienti di per sé poco aggressivi nei confronti di ferro, acciai, ghise, leghe ferrose a memoria di forma, sono le atmosfere secche non inquinate; le atmosfere industriali inquinate da SO₂ risultano poco aggressive nei confronti degli acciai Cor-ten, purché esposti in modo uniforme e in assenza di bagnamenti frequenti; atmosfere generiche, purché non inquinate da cloruri, risultano poco aggressive nei confronti degli acciai inossidabili. Ambienti "protettivi" possono risultare i ghiacciai e i terreni alcalini, in particolare i terreni calcarei in zone lontane dalla falda acquifera, e rispetto a tutti i materiali ferrosi.

Gli ambienti naturali però non sono statici, ma in continua evoluzione vuoi per effetto serra, disboscamenti, alluvioni, inquinamento ecc.. Un ambiente anche "poco aggressivo" può diventare "fortemente aggressivo" assai rapidamente. Basti ricordare la struttura portante della Madonnina del Duomo di Milano; struttura in ferro pitturata nell'agosto del 1939 in occasione della ridoratura della statua, era risultata, nel 1962, a seguito dei controlli effettuati approfittando dei ponteggi installati per i lavori

di restauro alla Grande Guglia, perfettamente conservata ed efficiente. Nel marzo del 1967, a seguito di controlli casuali effettuati approfittando del ponteggio installato per sostituire l'elemento radioattivo ormai esaurito del parafulmine, risultava completamente degradata, per cui doveva essere integralmente sostituita con una in acciaio inossidabile. Ciò nonostante non si deve pensare che l'inquinamento sia un fattore necessariamente negativo da un punto di vista corrosionistico. Le fognature di Los Angeles, che non avevano evidenziato problemi fino a quando raccoglievano scarichi di tutti i tipi, subirono un repentino degrado con l'introduzione dei primi limiti legislativi agli scarichi. Degrado causato dallo sviluppo e dall'azione combinata di batteri solforiduttori accanto a batteri solfoossidanti, sviluppo consentito appunto dall'eliminazione dagli scarichi di sostanze tossiche come i metalli pesanti.

Da un punto di vista corrosionistico non si può dimenticare che per aver corrosione è indispensabile (tra l'altro) un conduttore ionico e che nella corrosione a temperatura ambiente un ruolo fondamentale è quello esercitato dal conduttore ionico acqua.

La conducibilità dei terreni e del calcestruzzo è legata al tenore d'acqua, che dipende dagli eventi meteorologici, dalla granulometria, porosità e dai livelli di falda che possono subire escursioni anche importanti.

Nell'esposizione atmosferica, la presenza d'acqua sulle superfici è legata all'umidità atmosferica, ma l'ambiente reale che inviluppa l'opera dipende non solo dagli eventi meteorologici, umidità e inquinamento atmosferico, ma anche dal design dell'opera, dal suo posizionamento e dalle operazioni di manutenzione ivi comprese quelle di pulizia.

Un esempio anche molto schematico e semplificato può illustrare la potenziale gravosità di tale dipendenza.

Consideriamo dei semplici bicchieri cilindrici, con (C) e senza (S) foro sul fondo (effetto design) esposti all'atmosfera con l'asse più (rovesciato, R) o meno (dritto, D) inclinato rispetto all'orizzontale (effetto posizionamento). Cerchiamo di immaginare cosa potrebbe succedere ai nostri bicchieri esposti sul balcone di una casa a Milano nel corso di un anno.

Ipotizziamo che inizialmente vi siano delle belle giornate, tutti i bicchieri CD, CR, SD e SR tenderebbero a sporcarsi con polvere, escrementi di uccelli, ragnatele; poi un giorno piove, la pioggia tenderebbe a "lavare" CD e CR mentre SR sarebbe lavato solo all'esterno e SD sarebbe lavato all'esterno e riempito d'acqua all'interno. Poi torna il sole, i bicchieri si asciugano e riprendono a sporcarsi, ma all'interno di SR il nuovo sporco si ag-

giunge al precedente non dilavato dalle piogge. L'acqua contenuta all'interno di SD evaporerrebbe, dando luogo a una soluzione concentrata che tenderebbe a cementare lo sporco, i sali cristallizzati richiamerebbero acqua anche in assenza di piogge. Questa alternanza di sole e pioggia si protrarrebbe ciclicamente e darebbe luogo a cicli di insudiciamento e dilavamento tendenzialmente chiusi per CD e CR. Lo sporco tenderebbe invece ad accumularsi all'interno di SR, mentre SD si riempirebbe fino all'orlo di una fanghiglia ricca in sudiciume, sali e acqua. I tempi di bagnamento, con presenza quindi della fase a conduzione ionica necessaria per la corrosione, risulterebbero alquanto diversificati. Poi una notte fa freddo e gela. Il fatto risulterebbe poco rilevante per CD e CR. Per SR, potrebbe determinare la fessurazione o il distacco e la caduta di scaglie di sudiciume dall'interno a causa delle tensioni prodotte dalla diversità nei coefficienti di dilatazione termica. L'acqua contenuta in SD potrebbe gelare, prima all'esterno tappando il bicchiere, e poi all'interno, arrivando anche a spaccarlo a causa dell'aumento di volume. Ciò non sarebbe successo se SD fosse stato preriempito (ad esempio con gomme siliconiche) oppure anche solo lavato (e asciugato) dopo l'ultima pioggia (effetto della pulizia).

Risulta evidente che le caratteristiche dell'ambiente entro il quale i bicchieri realmente verrebbero a trovarsi, dipendono dai fattori sopra menzionati. Su tali fattori, si può in genere intervenire facilmente e con costi modesti, anche nel caso di opere d'arte.....basta pensarci!

Negli ambienti naturali gli acciai inossidabili sono particolarmente resistenti, almeno in assenza di cloruri, grazie alla formazione di film di passivazione. In presenza di cloruri si osservano forme di corrosione localizzata, l'O⁻ degli ossidi può essere sostituito dal Cl⁻ con creazione di difettività e aumento della conducibilità. I film di passivazione risultano quindi meno stabili. Le aree anodiche, richiamando anioni per elettroforesi, si arricchiscono di cloruri, più mobili e presenti spesso in maggior concentrazione degli ossidrilici prodotti al catodo. Fenomeni di idrolisi tendono ad acidificare le aree anodiche e si instaura un meccanismo perverso che conduce localmente a velocità di dissoluzione assai alte. L'insorgenza di tali forme di corrosione è prevedibile solo su basi statistiche, in modo del tutto analogo agli incidenti d'auto.

Le ghise sono suscettibili di dissoluzione preferenziale del ferro rispetto a quella della cementite e/o grafite. La dissoluzione selettiva del ferro può condurre a disgregazione o meno la parte residua non disciolta. Nel caso di attacchi sufficientemente lenti, in particolare nel caso di ghise a grafite lamellare, il reticolo

di grafite può rimanere meccanicamente stabile e agire da area catodica per la riduzione dell'ossigeno con produzione di ossidril. Le porosità del reticolo di grafite possono venire sigillate dagli idrati di ferro e/o da attività biologiche sessili. Il ferro può dissolversi completamente e lasciare una massa grafitizzata, più leggera ma che riproduce esattamente la forma della ghisa originaria.

Gli acciai Cor-ten, in condizioni di bagnamento frequente si comportano come gli acciai al carbonio. Se esposti ad atmosfere inquinate da SO₂ danno luogo a patine di prodotti di corrosione più stabili di quelli del solo ferro, sia per la presenza di composti degli elementi Cu, P, Cr aggiunti alla lega, sia per la formazione di α FeOOH, molto più stabile del γ FeOOH che si sarebbe formato su ferro.

Le leghe ferrose a memoria di forma sono materiali fortemente legati non particolarmente resistenti a corrosione, quelle ferro-manganese-silicio risultano particolarmente reattive.

Acciaio e ferro, negli ambienti naturali sono spesso soggetti a forme di corrosione localizzata con differenziazione delle aree anodiche da quelle catodiche. Sulle aree anodiche i cloruri stimolano la dissoluzione del ferro in modo analogo a quanto avviene per gli acciai inossidabili, i solfati, anche se meno mobili dei cloruri possono dar luogo ad effetti di acidificazione analoghi e i solfuri danneggiano i film di passivazione la cui formazione è invece favorita dall'acqua ossigenata.

Sulle aree catodiche può avvenire la riduzione dell'ossigeno, ma l'ossigeno molecolare, a causa della sua configurazione elettronica, è caratterizzato da una notevole inerzia cinetica. Per reagire, l'ossigeno molecolare richiede l'intervento di enzimi o di radicali (eventualmente prodotti dalla radiazione solare) o di ioni dei metalli di transizione, come ad esempio il ferro. Particolarmente efficace nel mettere l'ossigeno in condizioni di reagire è la magnetite.

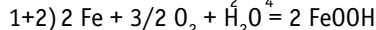
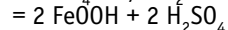
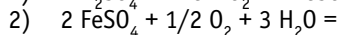
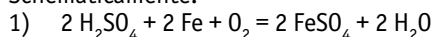
In carenza di ossigeno, nitrati e solfati presenti nelle acque o nei terreni possono dar luogo, grazie all'intervento "cinetico" di batteri specifici, a processi catodici utili per la dissoluzione anodica del ferro. I solfati possono risultare più dannosi dei nitrati in quanto il solfuro di ferro che si forma ha conducibilità elettronica e tende ad avere un'elevata superficie che si presta a fungere da area catodica.

Anche nell'esposizione atmosferica i composti dello zolfo svolgono un ruolo particolare. L'anidride solforosa può ridurre l'acqua ossigenata, che favorirebbe la formazione dei film di passivazione, e ossidarsi ad acido solforico. Tale ossidazione può avvenire anche con l'ossigeno dell'aria su catalizzatori del tipo nerofumo (fuliggine), ossidi di manga-

nese o ossidi di ferro (prodotti di corrosione, particolato atmosferico). La corrosione atmosferica promossa dai composti dello zolfo, inizialmente è localizzata in alcuni punti e si diffonde poi su tutta la superficie.

La presenza di ossidi catalizza l'ossidazione ad acido solforico, questo dà luogo a solfato ferroso, che viene poi ossidato a solfato ferrico che idrolizza ripristinando l'acido solforico con un ciclo detto di rigenerazione acida.

Schematicamente:



I punti ricchi di acido solforico si rivestono di prodotti di corrosione del ferro, creano una cella che al suo interno assume funzionamento anodico, mentre la parte esterna funziona da catodo. Problemi osmotici e di rigonfiamento portano alla rottura delle celle con diffusione all'esterno dei solfati che possono innescare il loro ciclo di rigenerazione acida in altri punti.

Nelle acque e nei terreni l'alcalinità prodotta dai processi catodici può interferire con equilibri del tipo bicarbonati/carbonati, con spostamento a destra dell'equilibrio e precipitazione di carbonati poco solubili che, se incrostanti, sottraggono aree a quelle disponibili ai processi catodici e rallentano il fenomeno corrosivo.

L'attacco corrosivo, pur frequentemente di tipo localizzato, può anche avvenire in forma generalizzata.

Questo, su ferro, avviene in corrispondenza a situazioni estreme come nel caso di:

- ambienti fortemente depassivanti, come acidi forti non ossidanti che conducono a rapida dissoluzione del materiale (HCl), ma anche come soluzioni con elevato rapporto Cl-/OH-, che in assenza di ossigeno possono risultare assai poco aggressive (fondali marini).
- ambienti fortemente passivanti, come ad esempio acido nitrico concentrato, che tendono a bloccare sostanzialmente i processi anodici e quindi la dissoluzione del metallo.
- ambienti fortemente incrostanti, come acque a elevata indice di Langhelier con formazione di incrostazioni di carbonato di calcio, ma anche come acido solforico concentrato con formazione di solfato ferroso non conduttore e insolubile nell'acido concentrato con blocco dei processi catodici e di conseguenza della corrosione.
- ambienti a bassissima conducibilità, come acque deionizzate, ma anche aria, a caldo, dove il ruolo di conduttore ionico è svolto dagli stessi ossidi. Ferri battuti e molti acciai di interesse artistico sono stati forgiati (a caldo). Se un acciaio (non legato) viene scaldato

all'aria tra i 575 e 1370 °C, si ricopre con una scaglia di ossidi costituita da tre strati ben definiti, FeO (wustite) aderente al metallo, Fe₃O₄ (magnetite) come strato intermedio e Fe₂O₃ (ematite) come strato esterno. Gli spessori degli strati dipendono dal tempo, temperatura e modalità del riscaldamento.

La wustite è termodinamicamente instabile al di sotto dei 575 °C e, per raffreddamento lento, si decompone in magnetite e ferro finemente suddiviso.

Differenze tra i coefficienti di dilatazione termica portano alla fessurazione della scaglia in fase di raffreddamento. Per successiva esposizione all'aria umida, all'interno della scaglia si instaurano accoppiamenti galvanici tra la magnetite, ove avviene il processo catodico di riduzione dell'ossigeno, e il ferro derivante dalla decomposizione della wustite, che finemente suddiviso e particolarmente reattivo si scioglie conducendo al distacco della scaglia. È il processo di "maturazione atmosferica" al quale erano sottoposte le lamiere ottenute per laminazione a caldo per distaccare la calamina, processo che richiedendo spazi e immobilizzando capitale non risulta, oggi, più economico. Se la scaglia viene raffreddata rapidamente, risulta poi abbondantemente fessurata, ma la wustite rimane indecomposta. In tal caso, per esposizione all'atmosfera, gli accoppiamenti galvanici si instaurano tra la magnetite e il ferro di base, che risulta successivamente corrosivo anche senza arrivare al distacco della scaglia. Se la temperatura di riscaldamento è inferiore a 575 °C, la wustite non si forma.

In acqua calda (T >> 100 °C) sotto pressione (generatori di vapore) e in assenza di ossigeno, l'acqua ossida il ferro con formazione di due strati di magnetite. Un primo, aderente al metallo, compatto, cresciuto probabilmente attraverso i meccanismi coinvolgenti i difetti puntuali tipici dell'ossidazione a caldo. Un secondo, di magnetite porosa, incoerente, costituito da cristalli ben sviluppati che fanno supporre fenomeni di dissoluzione (degli ioni ferrosi) e riprecipitazione come magnetite. Gli ioni ferrosi non ossidati possono disperdersi nell'acqua. Durante l'ossidazione del ferro a magnetite si ha aumento di volume, il rapporto tra volumi molari Fe₃O₄/3Fe risulta pari a 2,1. La superficie di separazione tra i due strati di magnetite corrisponde grossolanamente alla superficie originaria del ferro.

A temperature più basse, in acqua distillata, il ferro si corrode solo in presenza di ossigeno, non forma scaglie protettive ma una ruggine di composizione intermedia tra Fe(OH)₂ e FeOOH, di colore verdastro e che, esposta all'aria, si ossida a FeOOH.

Su di un reperto antico i processi di corrosione subiti possono differire, almeno

come scala dei tempi, da quelli sopra menzionati, risultando generalmente molto più lenti. A volte, più che di corrosione, si parla di mineralizzazione.

Un materiale ferroso mineralizzato è costituito da varie parti:

- una parte, eventualmente mancante, in ferro residuo, contenente ancora le sue inclusioni, scorie, carbone e minerale non reagito.
- una parte costituita da magnetite sostanzialmente compatta, aderente al ferro residuo e occupante lo spazio lasciato libero dal ferro consumato.
- una parte costituita da FeOOH in varie forme allotropiche contenente anche sostanze (cloruri, solfati, carbonati), terreno, entità di origine micro e/o macro biologica di derivazione ambientale.
- strati di ematite formatasi durante i processi di forgiatura originariamente subiti, e/o incrostazioni varie.

L'esistenza di magnetite compatta, aderente al ferro che si è in larga misura consumato, fa supporre che la magnetite si sia continuata a formare all'interfaccia ferro residuo/magnetite. Perché ciò accada è necessario un meccanismo di trasporto dell'ossigeno a tale interfaccia. Questo trasporto potrebbe avvenire via O^{2-} interstiziale, la cui esistenza però è alquanto improbabile a causa delle notevoli dimensioni dell' O^{2-} . Qualora avvenisse via O_2 molecolare attraverso difetti e porosità dello strato, l'aumento di volume conseguente alla formazione della magnetite potrebbe sigillare le porosità e bloccare il meccanismo di trasporto.

Il trasporto dell'ossigeno potrebbe avvenire anche per controdiffusione di vacanze di ossigeno VO^{2-} .

Ipotizzando che la formazione della magnetite avvenga all'interfaccia ferro/magnetite, assumendo, per comodità formale, che il trasporto dell'ossigeno avvenga via vacanze, e considerando due situazioni limite: una bagnata, in assenza di ossigeno, e una asciutta, in presenza di ossigeno, i fenomeni di mineralizzazione potrebbero venire descritti come di seguito esemplificato. Nella situazione bagnata, schematizzata in fig.1:

- all'interfaccia ferro/magnetite si consuma ferro e si forma magnetite (reaz. anodica)
 - a) $3 Fe \rightarrow Fe_3O_4 + 4 VO^{2-} + 8 e^-$
 - all'interfaccia magnetite/acqua si forma FeOOH (reaz. anodica)
 - b) $Fe_3O_4 + H_2O + OH^- \rightarrow 3 FeOOH + e^-$
 - all'interfaccia magnetite/FeOOH si forma magnetite (reaz. catodica)
 - c) $6 FeOOH + VO^{2-} + 2 e^- \rightarrow 2 Fe_3O_4 + 3 H_2O$
 - all'interfaccia FeOOH/acqua si forma idrato ferroso (reaz. catodica)
 - d) $FeOOH + H_2O + e^- \rightarrow Fe(OH)_2 + OH^-$
- Globalmente si potrebbe avere, accanto alla produzione di idrato ferroso, il consumo del ferro e quello del FeOOH: a + 9 b + 4 c + 9 d)

Fig. 1 - Trasformazione del ferro in ambiente acquoso deareato.

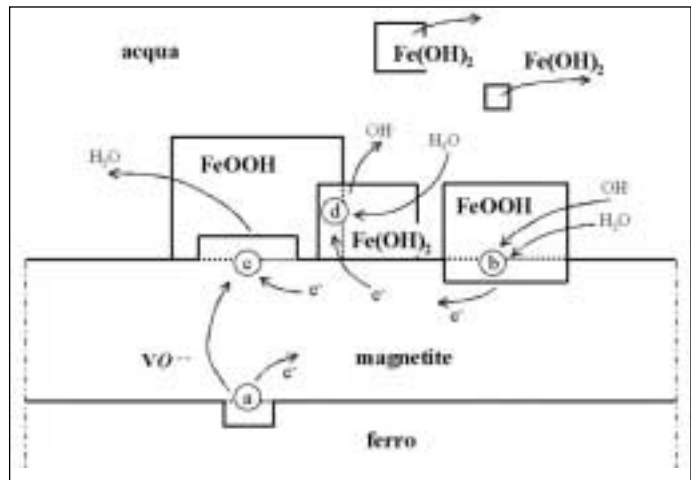
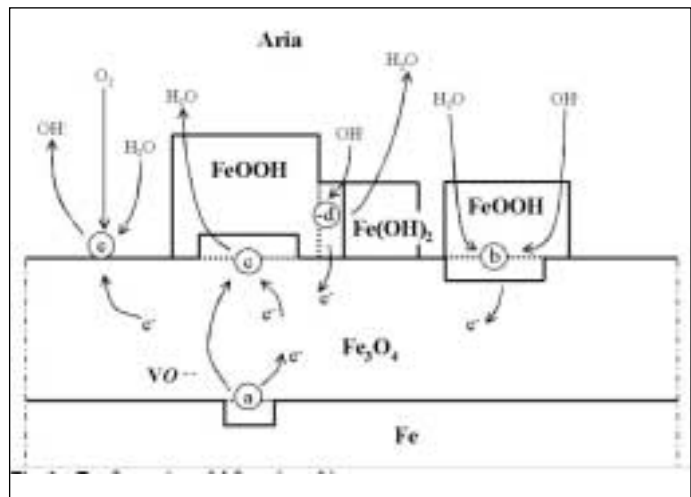


Fig. 2 - Trasformazione del ferro in ambiente aerato secco.



$3 Fe + 6 H_2O + 6 FeOOH \rightarrow 9 Fe(OH)_2$
 o della magnetite:
 $a + 12 b + 4 c + 12 d$
 $3 Fe + 12 H_2O + 3 Fe_3O_4 \rightarrow 12 Fe(OH)_2$
 ma sempre via FeOOH, che assume un ruolo fondamentale in entrambi i casi. La possibilità del consumo sia di FeOOH, sia di magnetite e la possibilità del $Fe(OH)_2$ di disperdersi nell'ambiente, giustifica le modeste quantità di ferro mineralizzato presente sui reperti provenienti da acque profonde e ricchi al più di incrostazioni. Nella situazione asciutta, come schematizzato in fig. 2, accanto alle reazioni della situazione precedente, bisogna considerare la reazione di riduzione dell'ossigeno:
 e) $O_2 + 2 H_2O + 4 e^- \rightarrow 4 OH^-$
 e la reazione d) va considerata in senso anodico(-d). Il processo globale può non consumare acqua:
 $a + 8 b + 4 c + 2 e$
 $3 Fe + 2 O_2 \rightarrow Fe_3O_4$
 o anche produrla:
 $-4 d + e$
 $4 Fe(OH)_2 + O_2 \rightarrow 4 FeOOH + 2 H_2O$
 Tali reazioni giustificano la formazione di magnetite e FeOOH per mineralizzazione del ferro in ambienti aerati. Ovviamente, gli ambienti reali possono non corrispondere a nessuno dei due ca-

si limite considerati, ma FeOOH comparirebbe comunque nei processi parziali se non in quello globale e svolgerebbe un ruolo fondamentale. FeOOH è un composto polimorfo che può essere presente come fase:

- α , goethite, sostanzialmente stabile sia in acqua sia in aria, tendenzialmente compatta, risulta protettiva, non si forma direttamente, ma per trasformazione della fase γ ;
- β , akaganeite, si forma in presenza di cloruri e la sua presenza è tipica degli ambienti marini, estremamente reattiva può essere rimossa rimuovendo i cloruri;
- γ , lepidocrite, si forma in sostanziale assenza di cloruri, la sua conducibilità e reattività è aumentata dall'assorbimento di SO_2 , la sua riduzione a magnetite avviene con diminuzione di volume per cui gli strati di lepidocrite sono spesso fessurati. La lepidocrite tende inoltre, molto lentamente, a trasformarsi nella fase α , per cui il rapporto alfa/gamma può essere un indice dell'anzianità del reperto.

La stabilizzazione del materiale ferroso mineralizzato richiederebbe pertanto la:

- eliminazione dei cloruri per evitare la formazione della akaganeite e/o l'acidificazione delle aree anodiche;
- eliminazione o blocco dei solfati per ri-

durre la reattività della lepidocrite e/o l'acidificazione delle aree anodiche;
 - eliminazione della fase γ , che potrebbe essere convenientemente effettuata accelerando la sua trasformazione nella fase α , processo che avviene già spontaneamente nel tempo, oppure la fase gamma potrebbe venire ridotta a magnetite o anche a ferro metallico, ma con alterazioni chimiche, morfologiche e fessurazioni della scaglia.

L'acqua esercita un ruolo fondamentale non solo nel degrado dell'opera, ma anche nella conservazione temporanea del reperto estratto dall'ambiente nel quale lo si è trovato. Reperti estratti da fondali marini, lacustri o fluviali, o da terreni e atmosfere umidi, o dopo un trattamento acquoso, presentano la parte mineralizzata e le incrostazioni intrise d'acqua. Parte mineralizzata e incrostazioni, così come molti materiali che possono accompagnare quello ferroso del reperto (legno, cuoio, tessuti, arenaria), sono tendenzialmente porosi. L'acqua qualora evaporasse all'interno dei pori determinerebbe un menisco e il sorgere, in corrispondenza al menisco, di sollecitazioni di trazione legate alla tensione superficiale dell'acqua. Tali sollecitazioni possono risultare sufficienti a fratturare o anche disgregare la parte porosa interessata, come spesso succede se un reperto estratto dall'acqua o altro ambiente umido viene conservato e "protetto all'asciutto" in un deposito.

L'asciugatura è un'operazione critica in qualunque fase del trattamento di recupero essa venga eseguita.

I problemi di tensione superficiale possono essere ridotti sostituendo all'acqua altri liquidi con tensione superficiale inferiore in opportuna sequenza (a 25 °C, $\gamma_{\text{acqua}} = 71,99 \text{ mN/m}$, $\gamma_{\text{alcohol etilico}} = 21,97 \text{ mN/m}$, $\gamma_{\text{eteredjetilico}} = 16,65 \text{ mN/m}$).

Tali problemi possono essere anche eliminati o eliminando il cambiamento di fase, sostituendo all'acqua un fluido in condizioni supercritiche (CO_2); o eliminando l'evaporazione, sostituendo l'acqua con sostanze che tendono a sublimare (canfora in alcool) o congelando l'acqua e allontanandola per sublimazione sotto vuoto. In quest'ultimo caso il problema dell'aumento di volume conseguente alla solidificazione dell'acqua può essere ridotto, se non eliminato, sostituendo l'acqua con miscele (glicoli polietilenici) che non cambino volume solidificando. L'acqua può anche essere sostituita da liquidi vari fino a miscele liquide che solidifichino nel tempo (colofonia in solventi compatibili con l'acqua, lattici, emulsioni, soluzioni di siliconi), ponendo però il problema della rovesciabilità dell'intervento, o a caldo da liquidi che a freddo solidifichino (cere più o meno microcristalline).

Buona pratica, ampiamente utilizzata dai restauratori per la conservazione tempo-

anea dei reperti estratti bagnati, è il loro mantenimento in soluzione acquosa. Un aspetto a volte non sufficientemente considerato è la tendenza della soluzione acquosa, all'interno dei pori, di portarsi in equilibrio osmotico con quella esterna. Differenze di pressione osmotica determinano flussi d'acqua e sollecitazioni di trazione, se la pressione osmotica più alta è quella esterna, o di compressione, se la più alta è quella interna. Le sollecitazioni di trazione tendono a fessurare e disgregare gli strati; le sollecitazioni di compressione tendono a deformarli e staccarli dal materiale sottostante.

Gli ossidi e idrossidi del ferro sono tendenzialmente stabili in ambiente alcalino, per cui è buona pratica, nota ai restauratori, mantenere un pH alcalino anche nelle soluzioni di conservazione temporanea.

Complicazioni possono sorgere nel caso di reperti contenenti sostanze organiche (seta, lana) e anche materiali metallici diversi dal ferro con diversi campi di pH di stabilità degli ossidi. Complicazioni possono derivare dalla conducibilità elettrica che, normalmente alta per le soluzioni adottate per la conservazione, poteva essere bassa nell'ambiente originario. In tal caso la soluzione di conservazione potrebbe promuovere forme di corrosione per quegli accoppiamenti galvanici rimasti latenti nell'ambiente originario a causa della sua bassa conducibilità.

In generale:

- il ferro gradisce ambienti alcalini, anche energici (NaOH),
- il rame richiede ambienti solo moderatamente alcalini (carbonati),
- l'argento, se in accoppiamento galvanico, necessita di un inibitore di corrosione,
- il piombo richiede l'uso di acqua "non" demineralizzata a pH = 8-10 possibilmente con carbonati,
- lo stagno richiede pH < 10 e se non risulta in accoppiamento galvanico è opportuno evitare l'utilizzo, come inibitore di corrosione, dei cromati che con lo stagno danno composti e patine molto stabili.

Altro aspetto, meritevole di considerazione, si riferisce alle condizioni di aerazione o meno della soluzione di conservazione temporanea. Tali condizioni dovrebbero corrispondere a quelle dell'ambiente di provenienza. Il passaggio infatti da condizioni aerobiche ad anaerobiche, che potrebbe sembrare cautelativo rispetto alla corrosione potenzialmente provocata dall'ossigeno che viene rimosso, può risultare controproducente su ferro e acciaio in presenza di solfati e batteri solforiduttori che sostituiscono al processo catodico di riduzione dell'ossigeno, quello di riduzione dei solfati con formazione di solfuri. Anche il passaggio contrario non è raccomandabile, in quanto batteri solfoossidanti posso-

no, in condizioni aerobiche, ossidare l'acido solfidrico prodotto in condizioni anaerobiche (odore di uova marce) ad acido solforico, e dar luogo ad un ambiente estremamente aggressivo.

Pure le condizioni di illuminazione non sono influenti. La luce promuove la formazione di radicali, la riduzione del Fe^{3+} a Fe^{2+} , la riduzione dell'ossigeno e la formazione di acqua ossigenata. La riduzione dell'ossigeno e del Fe^{3+} danno luogo a processi catodici che possono sostenere la dissoluzione anodica del ferro; la presenza di acqua ossigenata può condurre a fenomeni di passivazione del ferro, ma anche all'ossidazione dell' SO_2 ad acido solforico.

Molte sostanze, sia inorganiche (fosfati) che organiche (tannini), danno luogo con i sali ferrici a composti insolubili, stabili, e si comportano da inibitori di corrosione in ambienti ben areati, ossidanti, mentre in ambienti umidi poco areati possono, complessando gli ioni ferrosi, stimolare la dissoluzione del ferro. Spesso il miglior ambiente per la conservazione di un reperto prima del trasferimento ai laboratori è quello del campo, almeno se non sono intervenuti cambiamenti recenti. La simulazione di tale ambiente con uno artificiale può anche non alterare le caratteristiche geometriche, metallurgiche e chimico-fisiche del reperto, ma facilmente conduce all'alterazione delle caratteristiche biologiche delle superfici con potenziale perdita di informazione.

Pulizia meccanica, pulizia chimica, rimozione di sali, stabilizzazione e asciugatura sono tutte operazioni ove l'alterazione del reperto è voluta. Tale alterazione deve essere controllata e rigorosamente successiva alle più ampie indagini e documentazione possibili. Eventuali rivestimenti originariamente esistenti possono non trovarsi più a contatto con il metallo residuo, l'oro può trovarsi come metallo all'interfaccia parte mineralizzata/incrostazioni, lo stagno può ritrovarsi non più come metallo ma combinato nelle incrostazioni, così come lo zinco, la presenza di terre di fusione sarebbe preziosa per consentire una datazione. Prima di utilizzare la sabbiatrice, dobbiamo aver coscienza di rimuovere, con la sabbiatura, le informazioni contenute nel materiale asportato e sulla superficie sabbiata.

Non solo acque, terreni, atmosfere, soluzioni di conservazione temporanea e operazioni di pulizia possono risultare aggressive.

Anche ambienti poco sospetti, come gli ambienti chiusi, o materiali largamente utilizzati negli imballaggi e pensati come protettivi, come legno, carta, plastiche e pitture, possono risultare aggressivi a causa o delle loro caratteristiche di conduttori ionici o del rilascio di sostanze che si accumulano lentamente nel tempo.