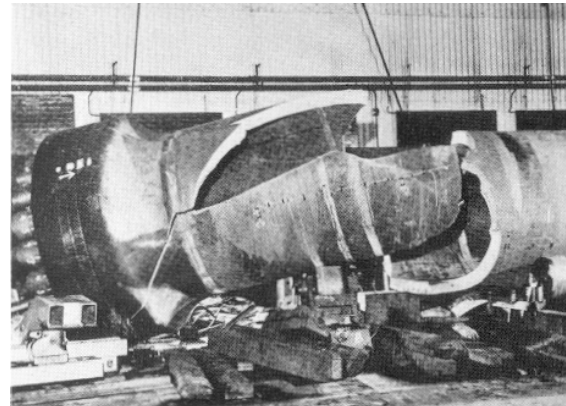


# FENOMENI DI DANNEGGIAMENTO IN ESERCIZIO IN COMPONENTI MECCANICI REALIZZATI CON MATERIALI METALLICI



# LA CORROSIONE

**Fenomeno elettrochimico che si può manifestare quando un metallo o una lega metallica sono posti in esercizio a contatto con ambienti vari**



**Il processo di corrosione tende a riportare spontaneamente i materiali metallici al loro stato termodinamicamente più stabile, che è quello di combinazione con sostanze ambientali, soprattutto ossigeno (formando ad es. ossidi)**



**Può condurre al decadimento tecnologico del manufatto, che si ossida e si disgrega, perdendo le sue proprietà**

## INTERAZIONI METALLO - AMBIENTE

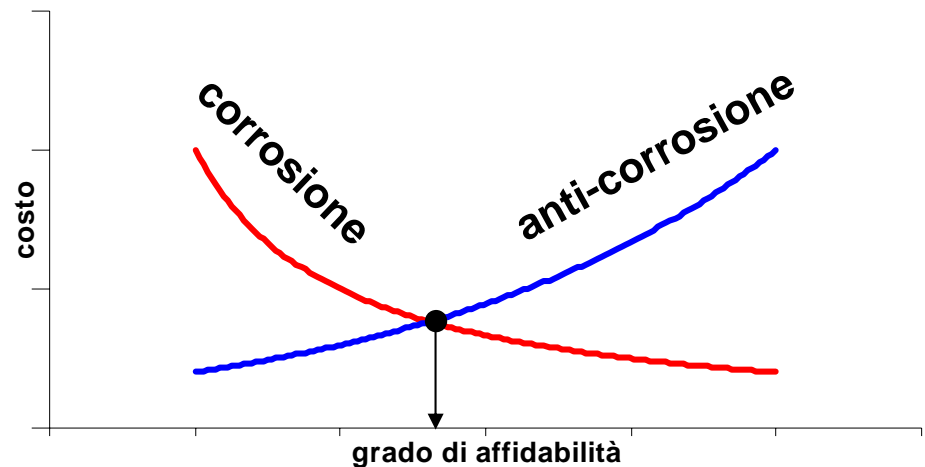
- **CORROSIONE**  $\Rightarrow$  il metallo interagisce con l'ambiente, si corrode e viene consumato nel tempo
- **PASSIVITA'**  $\Rightarrow$  il metallo interagisce con l'ambiente, inizialmente si corrode, formando un sottile strato superficiale di ossido molto aderente che lo protegge da un'ulteriore corrosione
- **IMMUNITA'**  $\Rightarrow$  non si verifica alcuna interazione tra metallo e ambiente (es. l'oro in acqua)

La principale conseguenza della corrosione è il *decadimento tecnologico* dei manufatti

Il danno che ne consegue si può distinguere in:

- primario (rotture)
- secondario (conseguente alla rottura)

Per la scelta del *grado di affidabilità del componente*



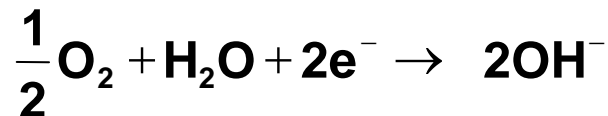
## MECCANISMO DI CORROSIONE

Il fenomeno della corrosione richiede sempre due specie chimiche:

- *una specie ossidante* (proveniente dall'ambiente), che ossida il metallo;
- *una specie riducente* (il metallo), che si ossida e riduce l'ambiente



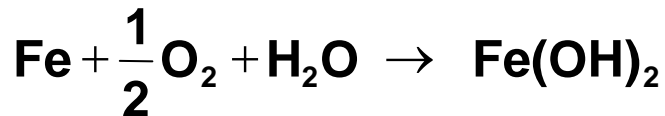
### REAZIONE REDOX



reazione catodica (riduzione)



reazione anodica (ossidazione)



I due fattori che maggiormente influenzano la corrosione sono:

- *potere ossidante dell'ambiente* (presenza di  $O_2$ ,  $HNO_3$ , etc.)
- *stabilità del metallo*, dipende dalla facilità con cui il metallo perde i suoi elettroni (ossidandosi)

### Due famiglie di metalli

```
graph TD; A[Due famiglie di metalli] --> B[metalli attivi]; A --> C[metalli nobili];
```

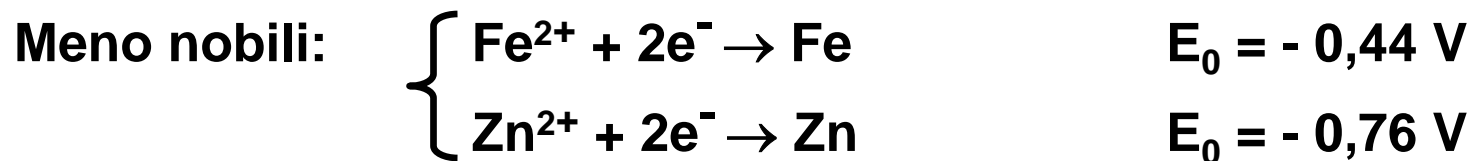
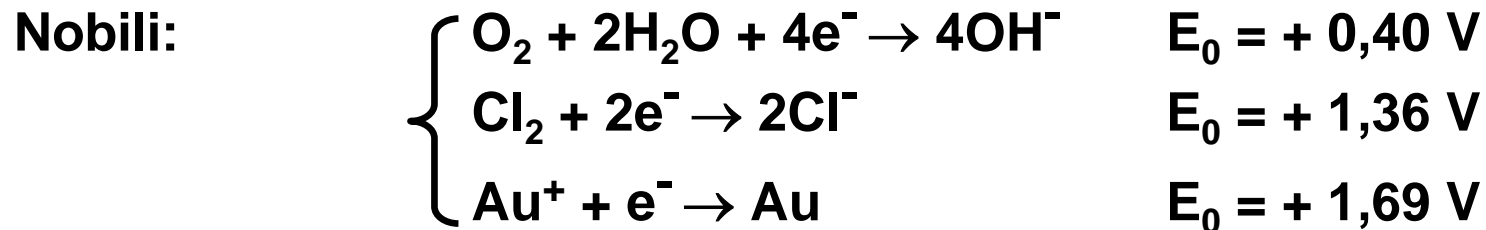
**metalli attivi**  
si corrodono facilmente  
(es. magnesio, zinco, ferro, etc.)

**metalli nobili**  
più resistenti alla corrosione  
(es. oro, argento, rame, etc.)

La termodinamica indica con  $E_0$  (potenziale standard di riduzione) la *nobiltà delle reazioni chimiche*:



Dalle serie elettrochimiche si osserva che:



**In condizioni standard, la condizione termodinamica per la corrosione di un metallo è dunque:**

$$E_0 \text{ METALLO (reaz. anodica)} < E_0 \text{ AMBIENTE (reaz. catodica)}$$

**Eccezione:**

**alcuni metalli poco nobili, come il cromo ( $E_0 = - 0,74 \text{ V}$ ), lo zinco ( $E_0 = - 0,76 \text{ V}$ ), l'alluminio ( $E_0 = - 1,66 \text{ V}$ ), non subiscono la corrosione o meglio, la subiscono solo superficialmente**



**metalli attivo- passivi che subiscono la passivazione metallica**



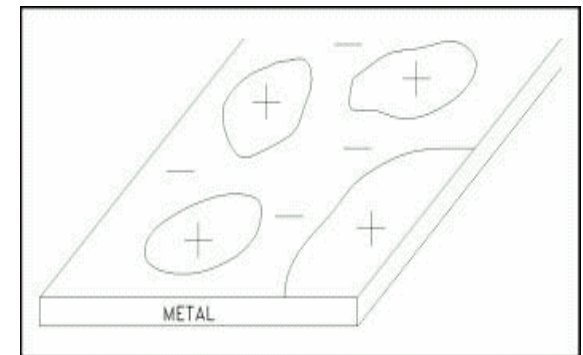
## 1. CORROSIONE UNIFORME

Se il materiale e l'ambiente aggressivo presentano entrambi omogeneità di composizione chimica, in tal caso *la velocità di attacco è identica in tutti i punti del manufatto*

Le proprietà meccaniche non vengono modificate

Si può misurare la perdita di peso per unità di superficie e tempo ( $\text{g/m}^2 \text{ h}$ ) o la riduzione di spessore per unità di tempo ( $\text{mm/anno}$ )

***Teoria dell'elettrodo misto:*** in mancanza di eterogeneità, in ogni punto della superficie si possono avere contemporaneamente i due fenomeni elettrochimici. Si susseguono statisticamente fenomeni anodici di corrosione (-) e catodici (+)

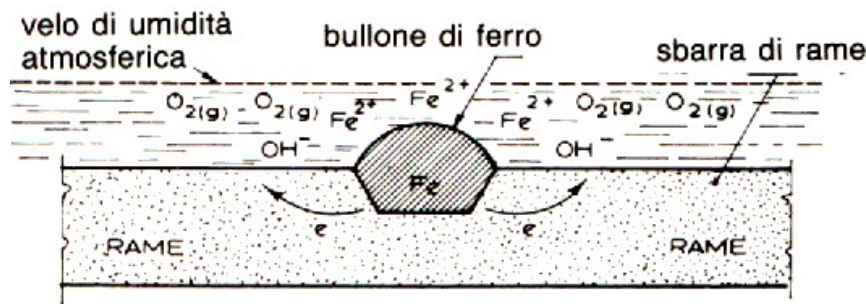


## 2. CORROSIONE PER CONTATTO GALVANICO

Si verifica quando due materiali diversi sono accoppiati in un'ambiente liquido corrosivo

Il metallo più nobile nella scala dei potenziali elettrochimici diventa il catodo, mentre quello meno nobile diventa l'anodo e si corrode più rapidamente che nel caso fosse solo

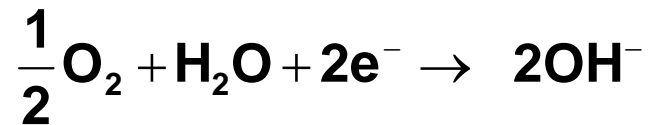
Si può generare anche su un metallo puro, qualora esso presenti localmente distorsioni o imperfezioni del reticolo, inclusioni, etc.



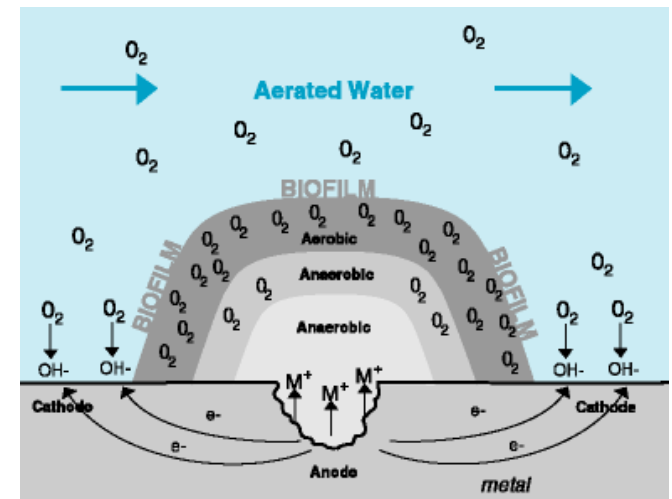
### 3. CORROSIONE PER AERAZIONE DIFFERENZIALE

Si verifica anche su metalli puri, se esposti ad un ambiente in cui si creano zone con diversa concentrazione di ossigeno

L'azione corrosiva dell'ossigeno in presenza di acqua risiede nella reazione:



La zona della superficie del metallo dove la concentrazione di  $\text{O}_2$  è minore, diventa negativa rispetto all'altra e si corrode rapidamente comportandosi da anodo



## 4. CORROSIONE IN FESSURA

Fenomeno di corrosione localizzata

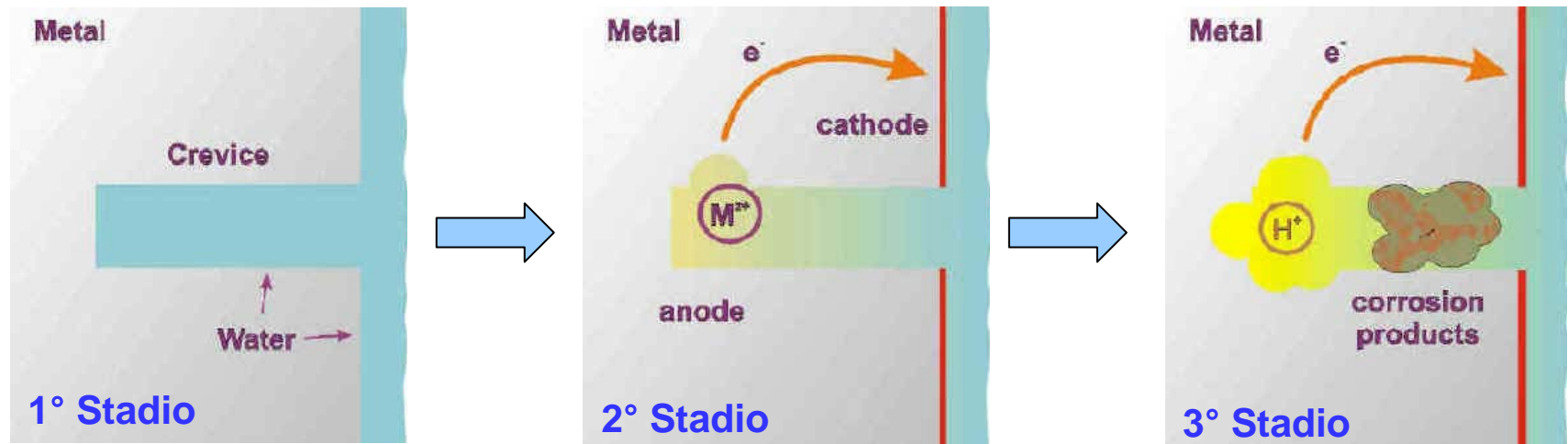


Penetrazione dell'ambiente aggressivo negli interstizi presenti nel pezzo o generati dall'assemblaggio di parti meccaniche

Col passare del tempo, all'interno dell'interstizio, si genera un *micro-ambiente molto corrosivo*, caratterizzato da:

- una diminuzione della concentrazione di ossigeno,
- lo spostamento del pH verso valori di acidità,
- la concentrazione di specie ioniche aggressive ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ )

## E' un processo auto-catalitico



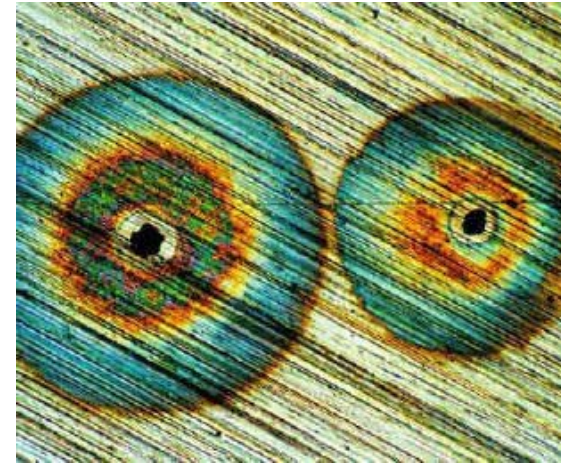
- 1° Stadio:** inizialmente il tenore di  $O_2$  disciolto è uguale ovunque
- 2° Stadio:** l'ossigeno è presto consumato all'interno della fessura che diventa un'area anodica per aerazione differenziale
- 3° Stadio:** gli ioni metallici idrolizzano la soluzione (acidificazione) e attirano specie ioniche corrosive ( $Cl^-$  e  $SO_4^{2-}$ )

## 5. CORROSIONE PER PITTING

**Fenomeno di corrosione localizzata**

**Formazione di cavità (pit) di dimensioni molto piccole (0,1 e 2 mm)**

**Interessa materiali a comportamento attivo-passivo (Al, Mg, Ni, ottone, acciaio inossidabile)**



**Condizioni favorevoli: ambiente ossidante e presenza di cloruri**

**E' un processo auto-catalitico, che si divide in 2 fasi:**

- innesco: a causa di una discontinuità nel film protettivo o per una temporanea variazione locale dell'aggressività ambientale**
- propagazione: identica al caso di corrosione in fessura**

Forme tipiche dei pit di corrosione: dipendono dal metallo e dalla natura dell'ambiente corrosivo

**Punte di spillo**



**Caverne**



**Ulcere**



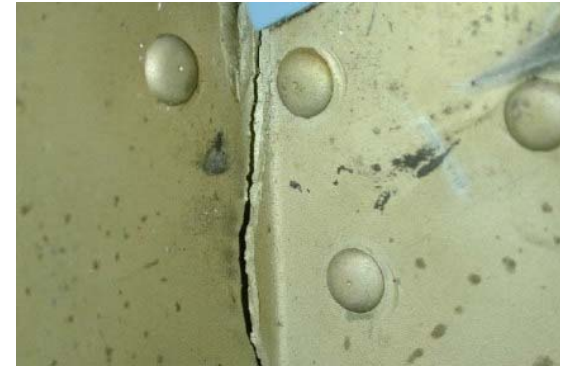
**Undercutting**



## 6. CORROSIONE SOTTO TENSIONE

**Azione combinata di un mezzo aggressivo specifico e di uno sforzo di trazione; in mancanza di una delle due premesse non si verifica nulla**

**Sono interessate da questo fenomeno soprattutto le leghe di Ti, Al, Ni, Pb e gli ottoni**



**Lo sforzo di trazione può essere applicato al manufatto direttamente o sottoforma di stress residuo, indotto da lavorazioni di deformazione a freddo, trattamenti termici, saldature, etc.**

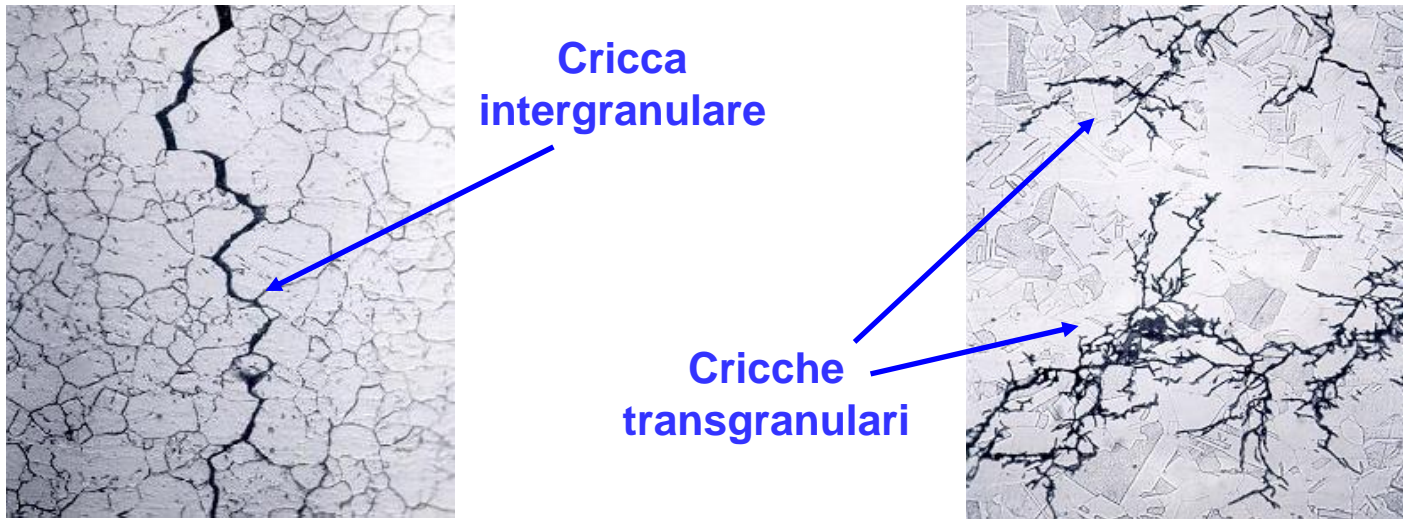
**Si manifesta sottoforma di cricca che propaga in un piano perpendicolare alla direzione dello sforzo**



**La corrosione si verifica in due periodi distinti:**

- incubazione: formazione delle fessure**
- propagazione: avanzamento rapido delle fessure nella lega**

**Le cricche possono avere morfologia transgranulare o intergranulare**

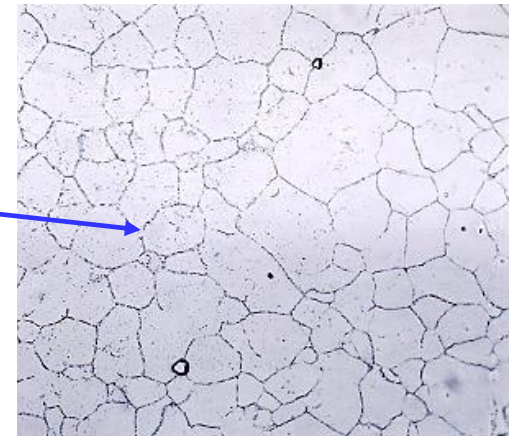


## 7. CORROSIONE INTERGRANULARE

Fenomeno di corrosione localizzata in corrispondenza dei bordi grano, che vengono demoliti in modo selettivo

E' normalmente associata ad effetti di segregazione chimica o di precipitazione di specifiche fasi a bordo grano, che possono produrre zone con ridotta resistenza alla corrosione

Tipico esempio: sensibilizzazione degli acciai inossidabili, per la precipitazione a bordo grano di fasi ricche di Cr



Provoca una diminuzione della resistenza meccanica e della plasticità della lega

## METODI DI PROTEZIONE DALLA CORROSIONE

### 1) Uso di rivestimenti protettivi

- **Verniciatura:** è il tipo di protezione più usato, prima di essere verniciate le superfici devono essere preparate per renderle idonee a ricevere la vernice (pulitura chimica o pulitura fisica)
- **Rivestimenti PVC:** fogli di plastica vengono applicati sulla superficie da rivestire, alla quale vengono fatti aderire mediante riscaldamento e applicazione di una semplice pressione
- **Rivestimenti metallici:** si deposita sul manufatto un metallo chimicamente più resistente del metallo rivestito. Esistono diversi metodi di applicazione: metodo galvanico, per immersione in bagno fuso, per placcatura, per spruzzatura.

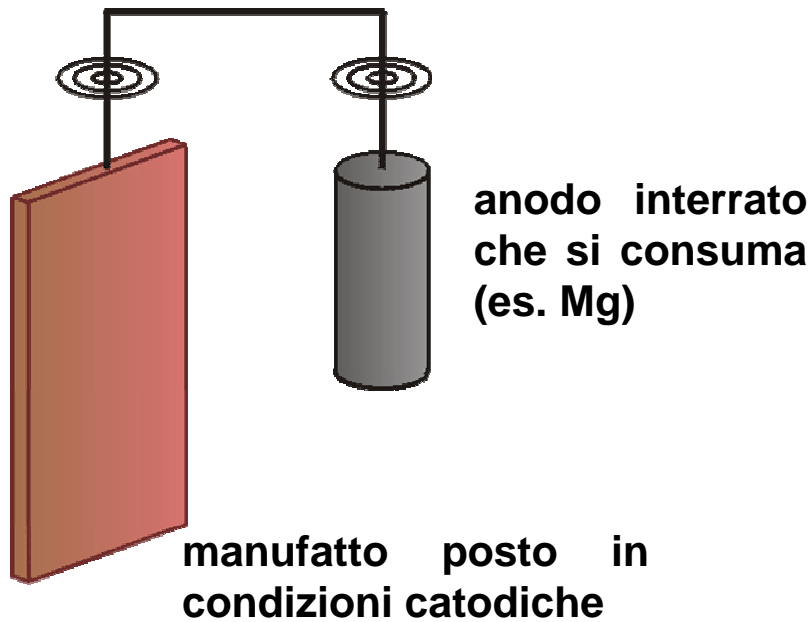
## 2) Protezione per formazione di composti superficiali

Alcuni metalli, se opportunamente trattati con reattivi chimici, danno origine superficialmente a composti chimicamente resistenti, che li proteggono dalla corrosione

- **Fosfatazione:** consiste nell'immergere il ferro e le sue leghe in un bagno di soluzione fosfatica, che porta alla formazione di un velo superficiale di complessi fosfati di ferro resistenti alla corrosione dell'atmosfera
- **Brunitura:** consiste nel ricoprire, mediante immersione in un bagno di sali ferrici, la superficie da proteggere con un sottile strato ossido salino di ferro. Si adotta per motivi estetici
- **Passivazione:** consiste nel promuovere lo sviluppo sulla superficie del metallo di uno strato di ossido aderente (*anodizzazione dell'Al*)

### 3) Protezione elettrica (catodica)

#### Con anodo sacrificiale



#### Con generatore c.c.

