



CONSIGLIO NAZIONALE  
DEGLI INGEGNERI



POLITECNICO  
MILANO 1863



ASSOCIAZIONE  
TECNOLOGI  
PER L'EDILIZIA

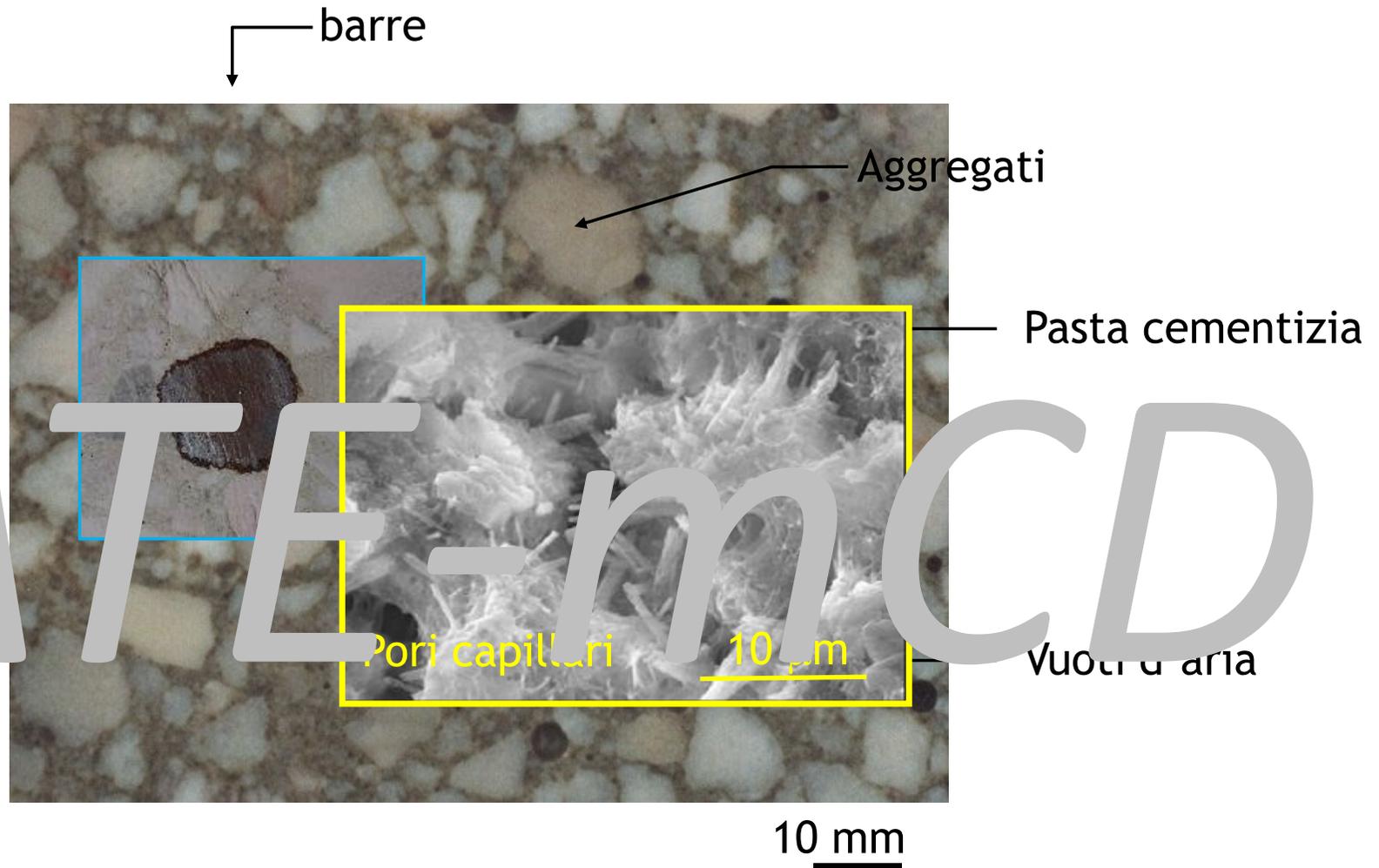


**Corso di formazione ATE-mCD  
Corrosione nelle strutture in c.a.: cause,  
fattori, conseguenze**

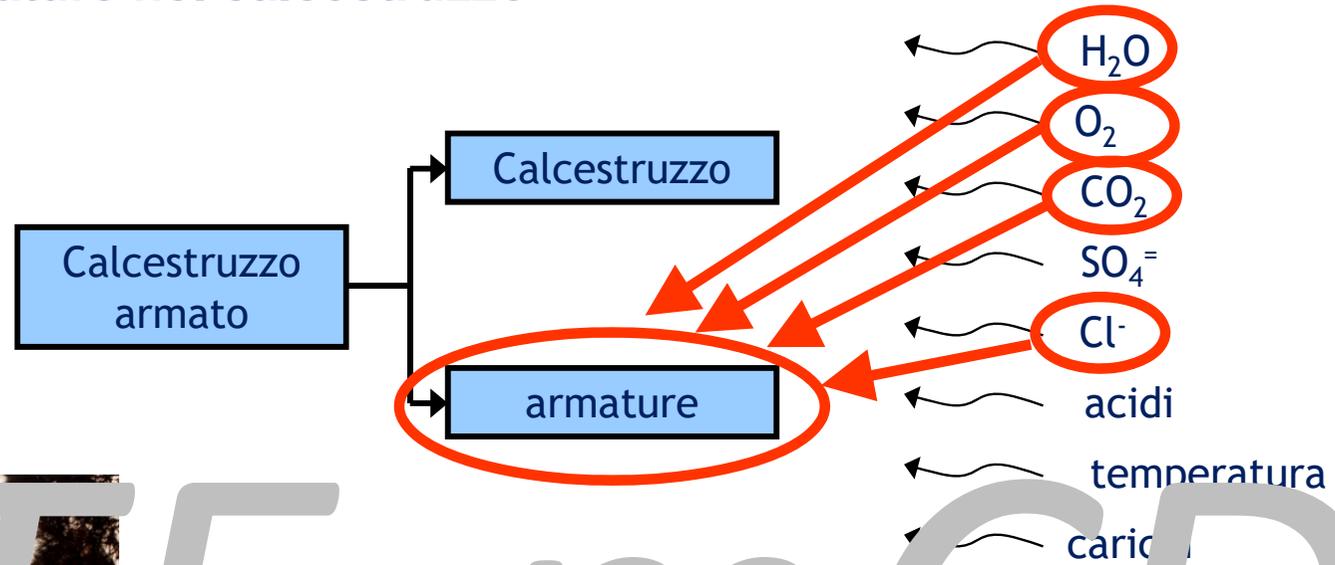
**Prof. Federica Lollini**

Milano, 20 Aprile 2023

## Calcestruzzo armato



# Corrosione delle armature nel calcestruzzo

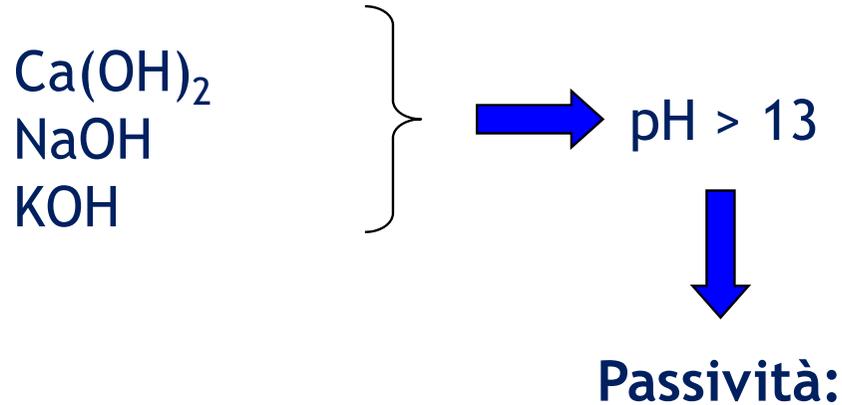


ATE-mcd



## Corrosione delle armature nel calcestruzzo

Soluzione alcalina nei pori della pasta di cemento:

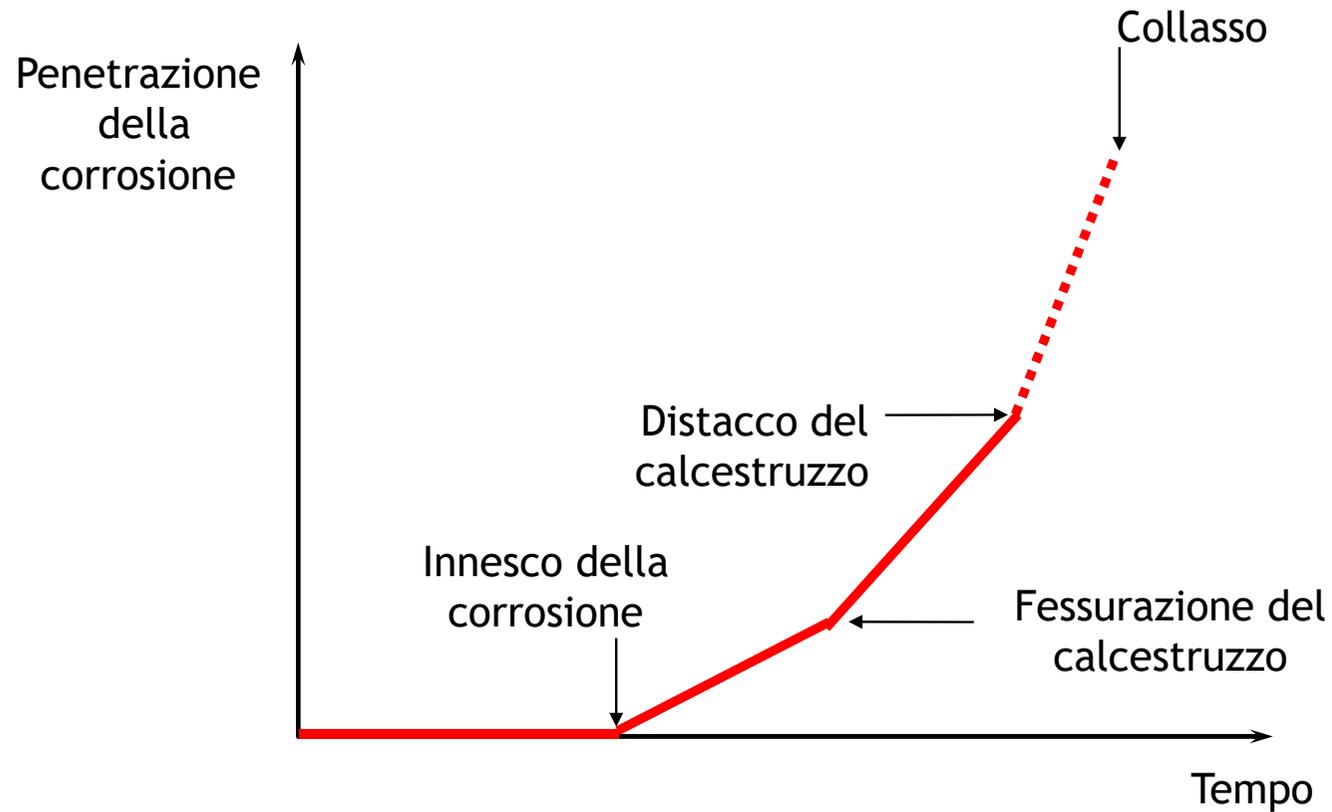


Condizioni di stabilità del film di passività  
(spessore di pochi nanometri):

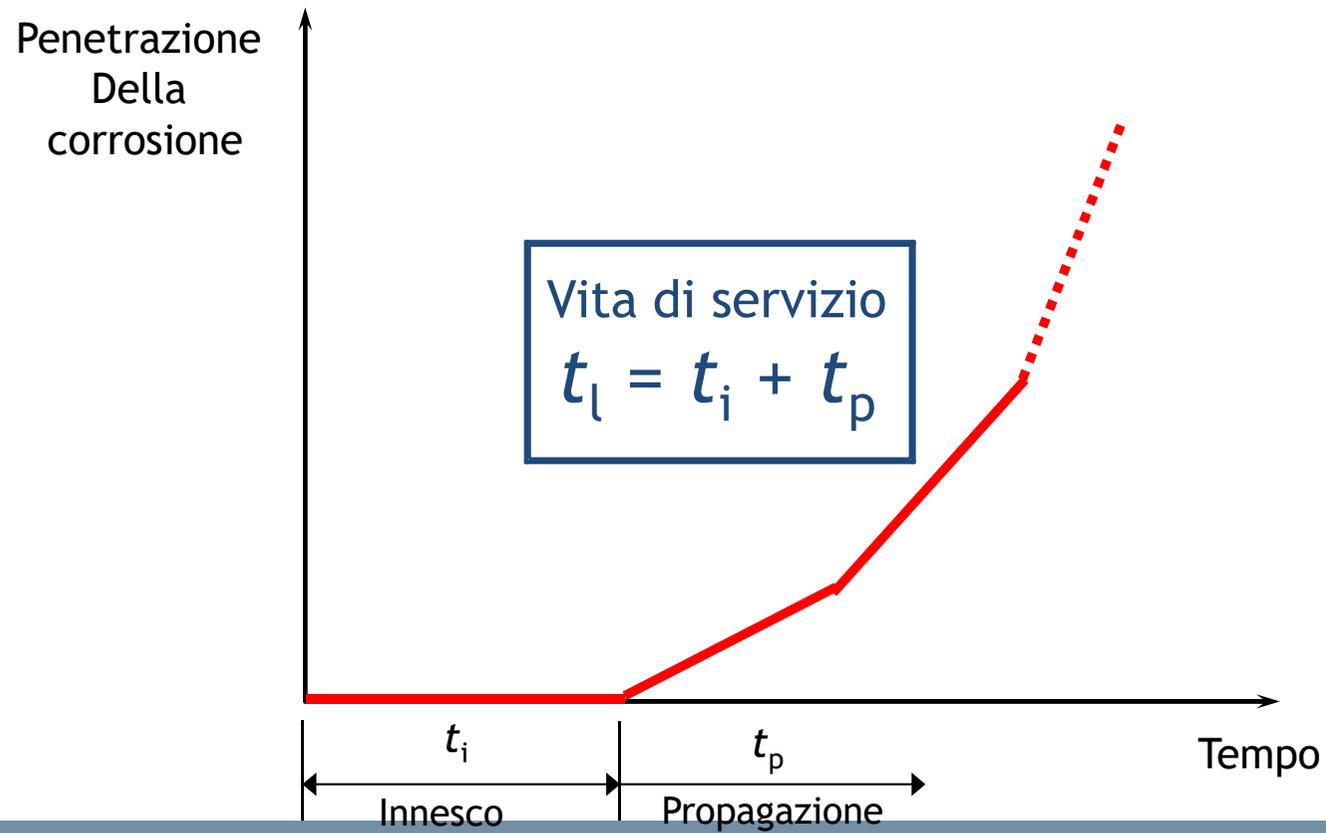
- 1) pH > 11.5 → Carbonatazione
- 2) assenza di cloruri → Acqua di mare  
Sali antigelo



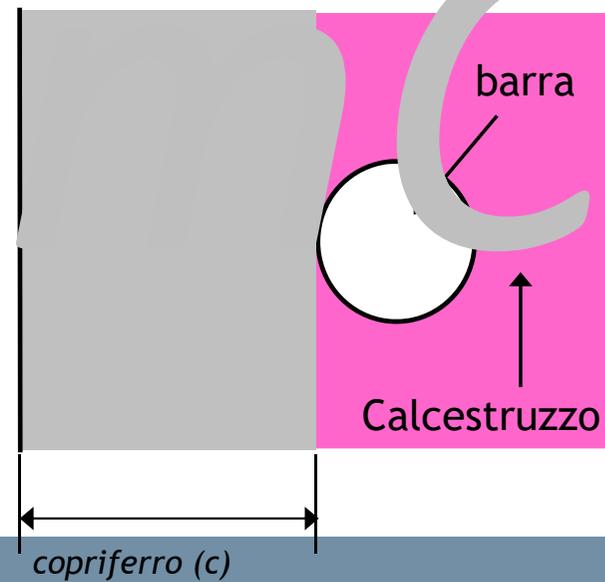
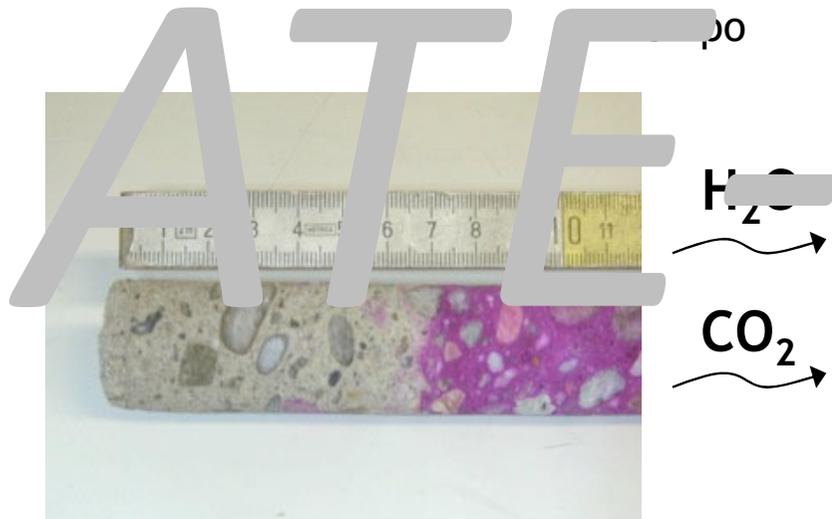
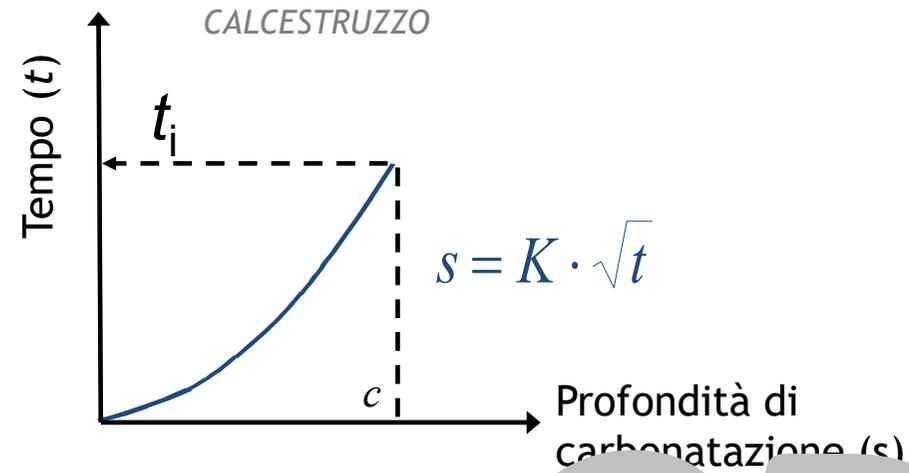
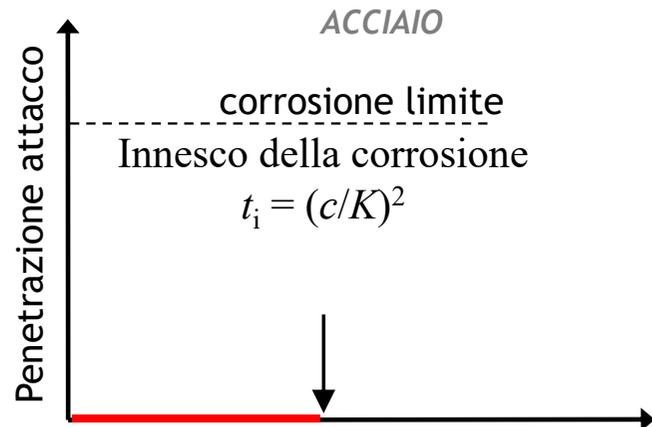
## Corrosione delle armature e vita di servizio



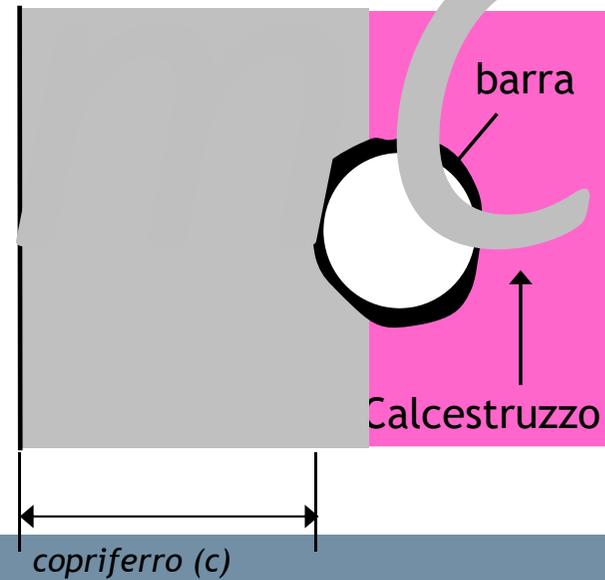
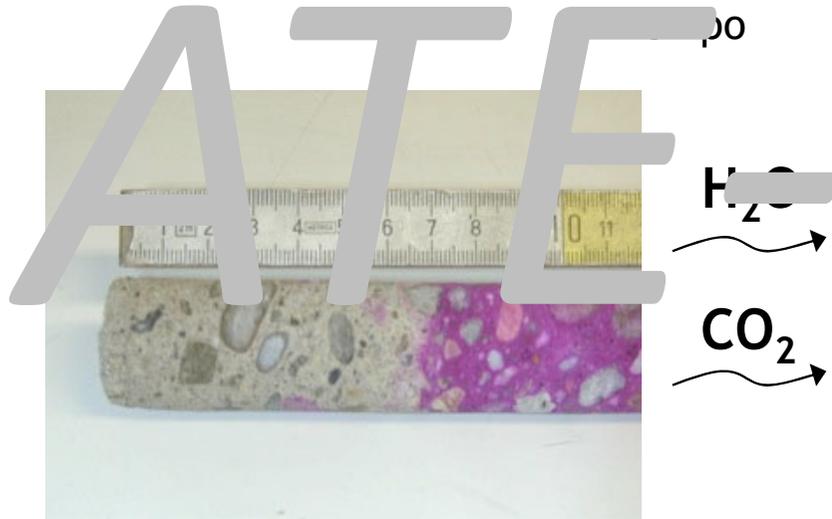
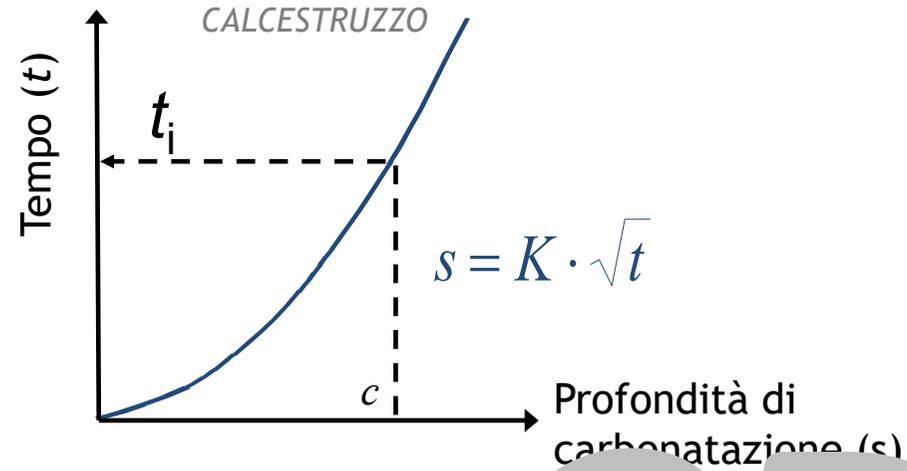
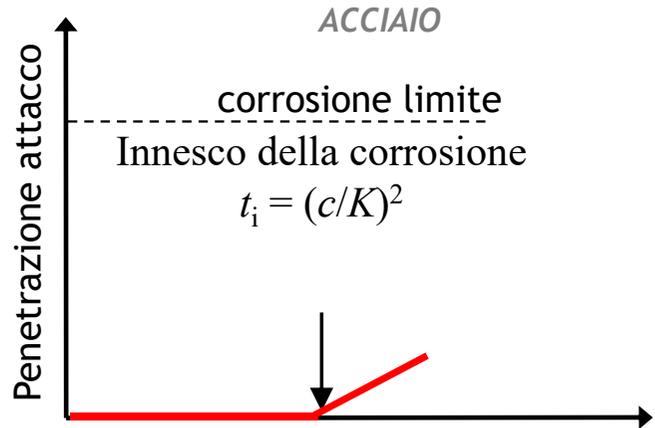
## Corrosione delle armature e vita di servizio



# Corrosione da carbonatazione



# Corrosione da carbonatazione



## Corrosione da carbonatazione: principali fattori

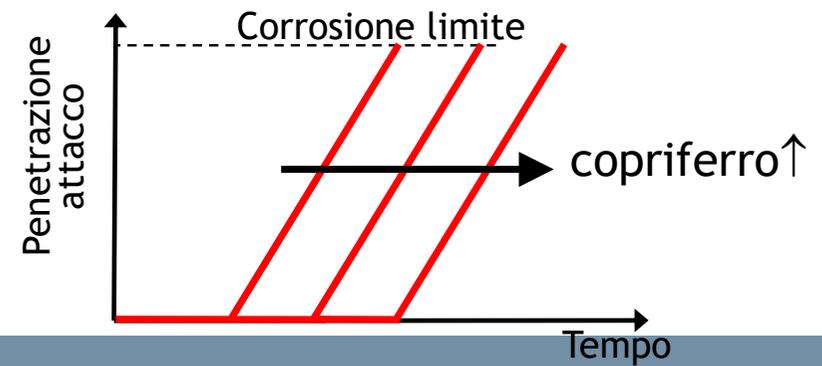
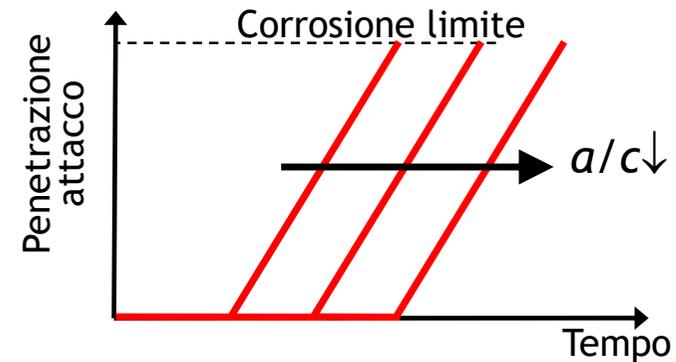
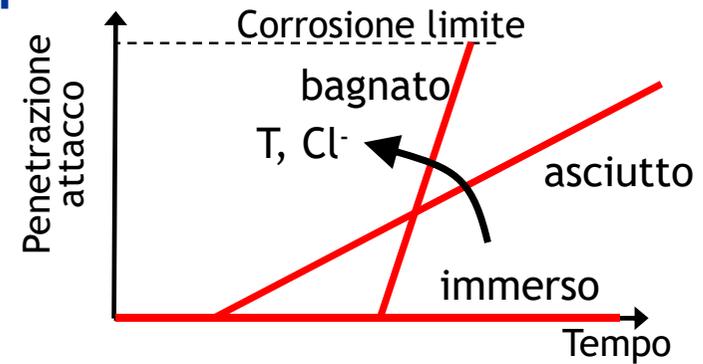
### 1) Ambiente:

- umidità (U.R.)
- temperatura (T)
- cloruri ( $\text{Cl}^-$ )

### 2) Calcestruzzo:

- acqua/cemento (a/c)
- stagionatura
- esecuzione

### 3) Spessore di copriferro



## Corrosione da cloruri

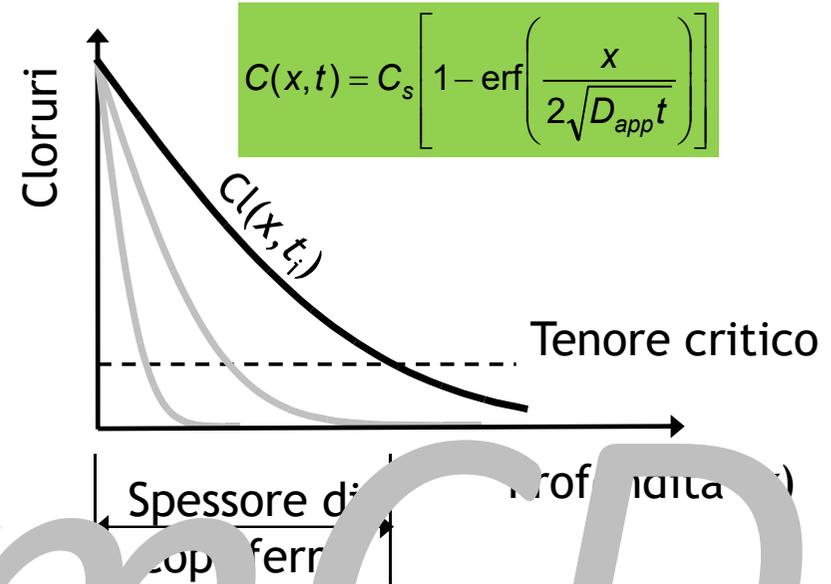
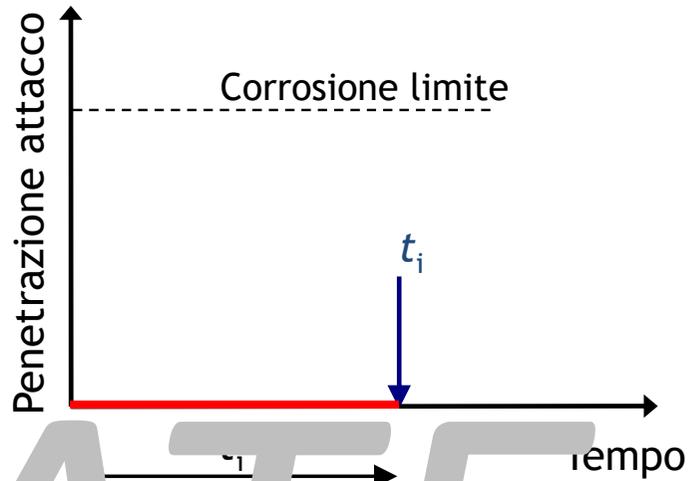
- La corrosione da cloruri è una causa frequente di degrado
- Potrebbe portare a una rottura locale del film di passività (anche in ambiente alcalino)
- Più aggressiva della corrosione da carbonatazione (velocità di corrosione più elevate per determinate T e U.R.)

Cloruri:

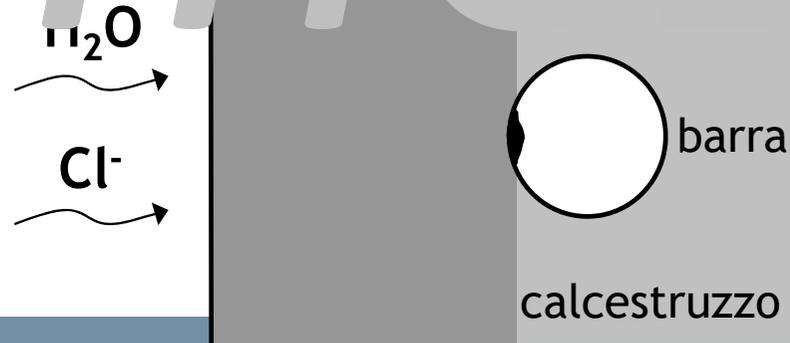
- Costituenti del calcestruzzo (acqua, cemento, aggregati)
- Penetrazioni dall'ambiente



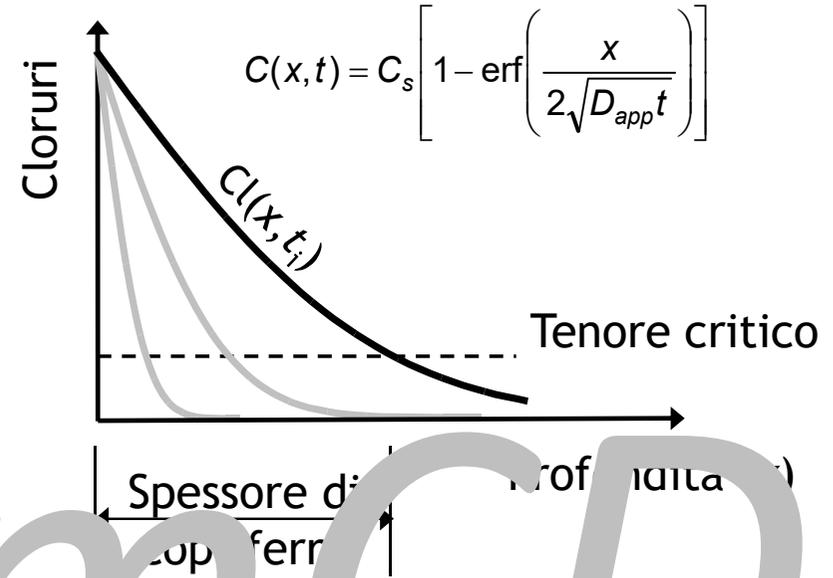
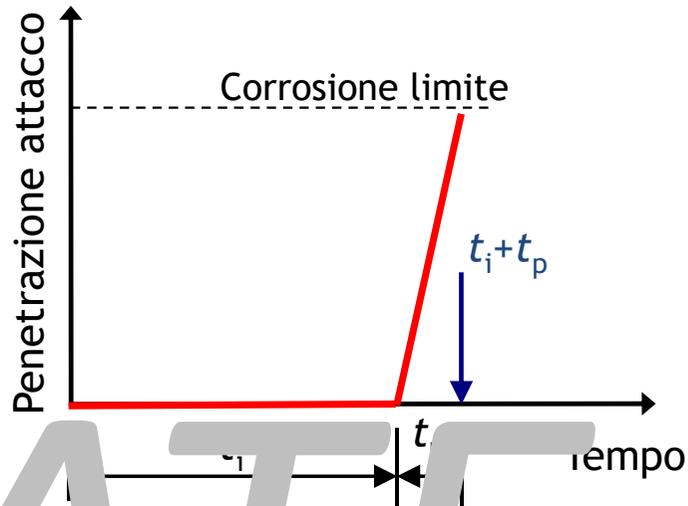
## Corrosione da cloruri



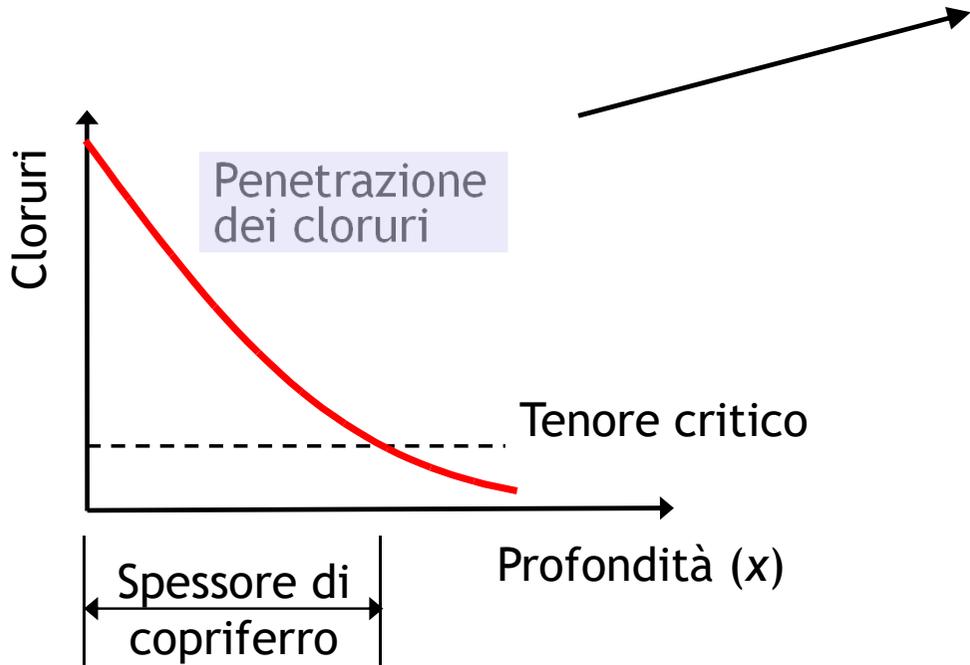
- $C(x, t)$  = contenuto di cloruri totale
- $C_s$  = contenuto di cloruri superficiale (% rispetto alla massa di cemento)
- $D_{app}$  = coefficiente di diffusione ( $m^2/s$ )
- $x$  = profondità ( $m$ )
- $t$  = tempo ( $s$ )



# Corrosione da cloruri

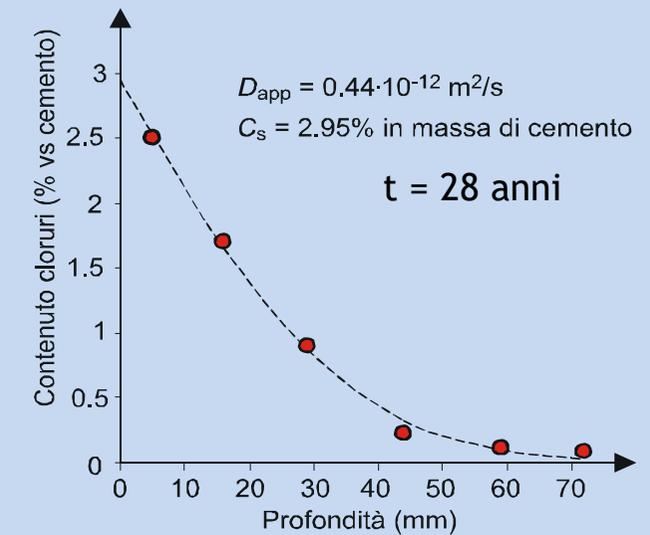


## Corrosione da cloruri – principali fattori



- 1) Condizioni di esposizione
  - [Cl<sup>-</sup>]
  - umidità
  - temperatura
  - cicli asciutto-bagnato
- 2) Composizione calcestruzzo
  - a/c
  - tipo di cemento/aggiunte
  - stagionatura, vibrazione,...

### Modellazione della penetrazione

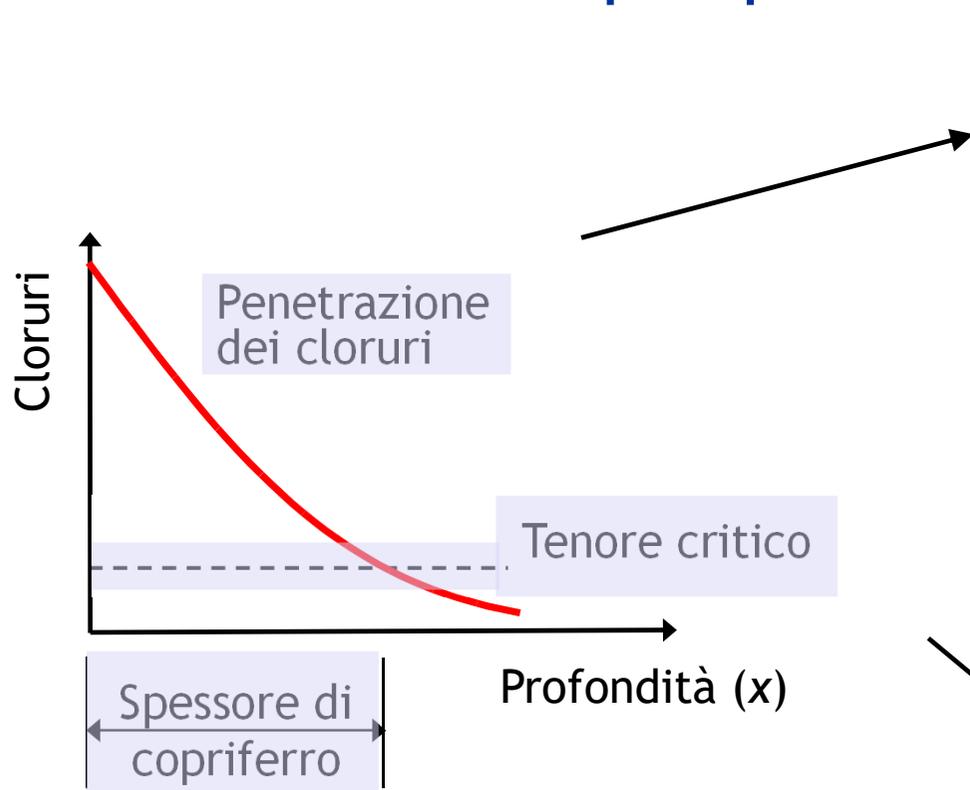


Il legge di Fick:  $\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$

$$\rightarrow C(x,t) = C_s \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \right]$$



## Corrosione da cloruri – principali fattori



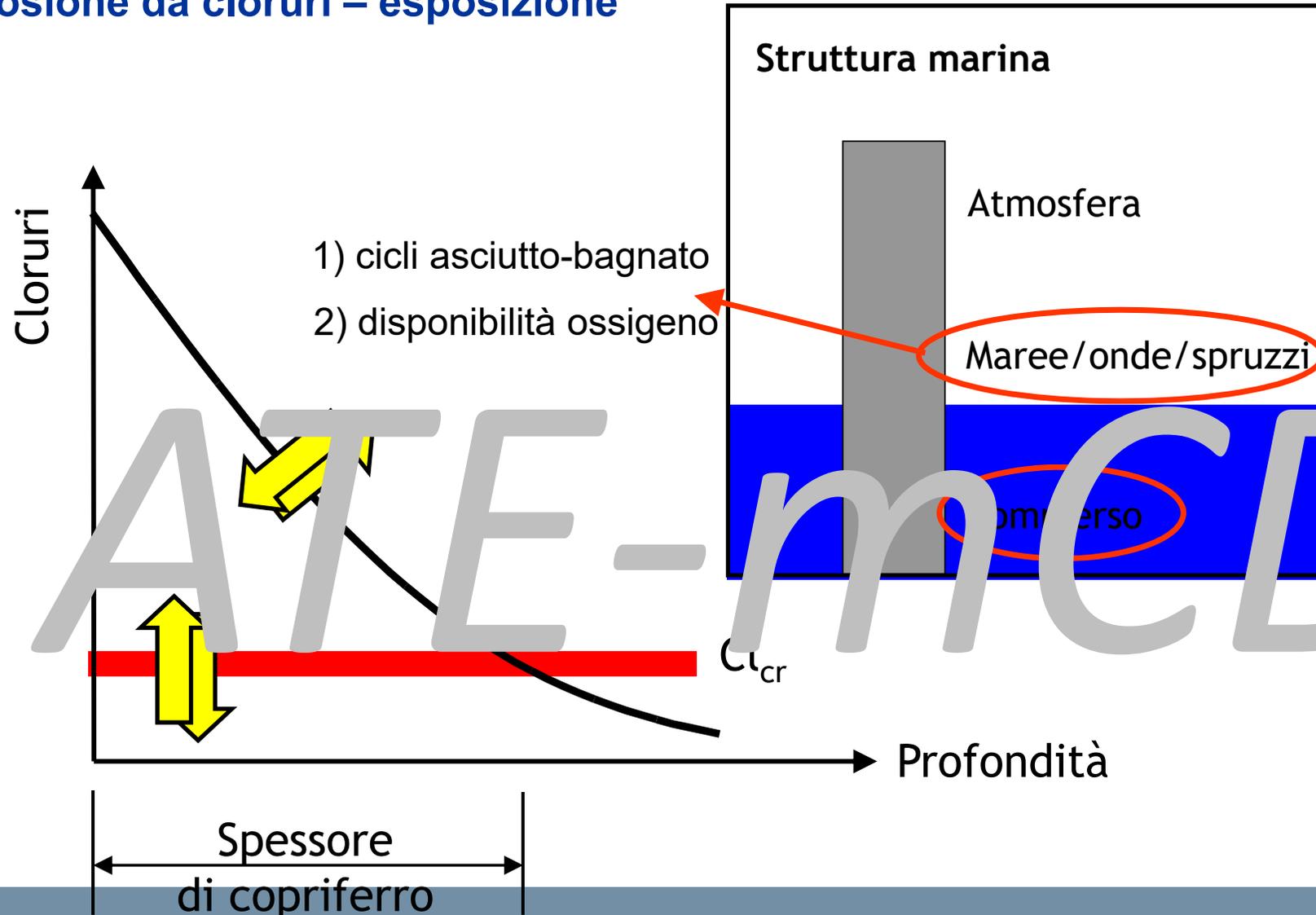
- 1) Condizioni di esposizione
  - [Cl<sup>-</sup>]
  - umidità
  - temperatura
  - cicli asciutto-bagnato
- 2) Composizione calcestruzzo
  - a/c
  - tipo di cemento/aggiunte
  - stagionatura, vibrazione,...

- 1) potenziale
- 2) tipo di legante (pH della soluzione nei pori, ...)
- 3) difetti all'interfaccia acciaio- calcestruzzo
- 4) temperatura
- 5) composizione dell'acciaio e condizioni superficiali
- ...

Per parti esposte all'atmosfera:  
 $Cl_{cr} \approx 0.4-1\%$  in massa rispetto al cemento



## Corrosione da cloruri – esposizione



## Altre forme di corrosione

- Carbonatazione
- Cloruri
- Macro Coppie
- Correnti disperse
- Infragilimento da idrogeno (c.a.p.)

