



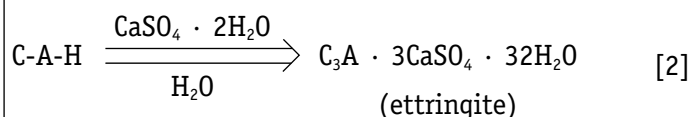
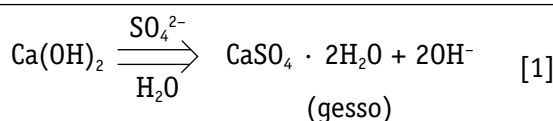
Attacchi aggressivi al calcestruzzo

Come ogni materiale, anche il calcestruzzo (e quindi il cemento) si degrada, per via di attacchi aggressivi di tipo chimico come l'**attacco solfatico**, la **carbonatazione** e la **clorurazione**.

Attacco solfatico

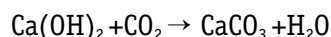
Acque o terreni ricchi di **solfati** rappresentano un pericolo per le strutture in calcestruzzo con cui sono a contatto. Una volta penetrati all'interno della matrice cementizia, infatti, i solfati reagiscono con i suoi costituenti per dare luogo a prodotti indesiderati e voluminosi che provocano rigonfiamenti oppure fessurazioni, distacchi e indebolimenti della struttura, in un fenomeno noto come **attacco solfatico**. Questo fenomeno può essere schematizzato in due reazioni:

- nella **reazione 1** l'idrossido di calcio, Ca(OH)_2 (prodotto di reazione tra l'acqua di impasto e i silicati di calcio del cemento) reagendo con gli ioni solfato in ambiente acquoso si trasforma in **gesso biidrato**, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, materiale voluminoso, meno resistente del cemento e più solubile in acqua;
- nella **reazione 2** il gesso prodotto può a sua volta reagire con altri componenti del cemento, come per esempio gli alluminati idrati (che si indicano con la formula ridotta C-A-H), formando una sostanza nota come **ettringite**, o sale di Candlot (la cui formula ridotta è $\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$). Quando la pasta cementizia è già indurita, la formazione di ettringite (più voluminosa dei composti di partenza) determina un aumento di volume che provoca, all'interno della matrice cementizia, l'insorgere di uno stato tensionale responsabile di possibili fessurazioni e/o distacchi.



Carbonatazione

In presenza di anidride carbonica alcune sostanze danno luogo alla formazione di **carbonati**. Questo fenomeno si chiama **carbonatazione**:



Se in alcuni casi la reazione si rende indispensabile perché un legante faccia presa (è il caso della **calce aerea**), in altri casi, e in particolare nel **calcestruzzo armato**, gli effetti della reazione sono negativi, infatti, degradano il materiale e perciò sono indesiderati.

Nel calcestruzzo non armato, la carbonatazione non rappresenta un problema. La presenza di un'armatura metallica nella matrice cementizia, invece, cambia drasticamente la situazione, perché, il processo di carbonatazione favorisce l'insorgere della **corrosione** dei tondini metallici dell'armatura.

Inizialmente l'idrossido di calcio (Ca(OH)_2) presente nel calcestruzzo alza il valore del pH della matrice cementizia a circa 12,5÷13 creando così le condizioni per un ambiente molto alcalino. In tal modo si forma sulle armature metalliche presenti nel calcestruzzo una patina aderente, solida





e compatta che protegge il metallo sottostante dalla formazione di ruggine (perché impedisce all'ossigeno e all'umidità dell'aria di arrivare a contatto con il metallo). Questo fenomeno di natura elettrochimica è noto anche come **passivazione** dei metalli. Se però l'anidride carbonica presente nell'aria riesce a diffondere dall'esterno nei pori della pietra cementizia allora si innesca il processo di carbonatazione. La riduzione dell'idrossido di calcio che man mano va reagendo modifica le proprietà alcaline del conglomerato cementizio poiché ne abbassa il pH, facendolo scendere anche a 8,5. Il fenomeno si va spostando dalle zone esterne a quelle interne (ciò dipende dalla **porosità** del calcestruzzo) e se riesce a raggiungere l'armatura di ferro indebolisce la patina protettiva che la avvolge, rendendola porosa e permeabile all'ossigeno e all'umidità. In queste condizioni, la patina non svolge più la sua funzione protettiva per il ferro sottostante e il metallo esposto all'umidità e all'ossigeno si corrode formando ruggine (diminuendo la sezione resistente dei tondini diminuisce complessivamente la loro resistenza). Il processo di corrosione può anche portare nel tempo ad avere il **distacco del copriferro** nelle strutture in cemento armato.

Clorurazione

Un altro elemento di pericolo per l'armatura del calcestruzzo è dato da una elevata presenza nell'ambiente di **ioni cloruri**. I sali a base di cloruri, infatti, possono penetrare dall'ambiente esterno come avviene per esempio nelle strutture marine o in molte opere stradali su cui si spargono sali disgelanti. Se in prossimità della superficie delle armature, la concentrazione di ioni cloruri supera un valore critico, detto concentrazione critica (circa 0,4 - 1% del contenuto in peso di cemento), il film protettivo può rompersi localmente e la corrosione dei ferri di armatura può innescarsi anche con pH elevati (> 9).



*Distacco del copriferro
in una struttura
cementizia.*

Ridurre gli attacchi chimici

Tutti gli attacchi chimici sinora visti sono dovuti essenzialmente alla porosità del calcestruzzo messo in opera, che a sua volta dipende dal rapporto acqua cemento a/c. Ridurre il rapporto a/c permette di ottenere un prodotto più compatto e quindi meno permeabile agli agenti aggressivi. Un ulteriore accorgimento, che si può adottare a monte del processo di preparazione del calcestruzzo, consiste nell'aggiunta di clinker, di loppe o di pozzolana nella miscela per formare, avvenuta l'idratazione, una maggiore quantità di silicati idrati di calcio. La miscela ottenuta offre una matrice cementizia meno porosa e meno permeabile di quella che si avrebbe con un tradizionale cemento Portland a parità di rapporto a/c.

Scienza e Tecnologia

Il calcestruzzo del futuro

La ricerca scientifica ha recentemente messo a punto un calcestruzzo ad alta prestazione (detto anche "calcestruzzo del futuro"), in cui la porosità del materiale è ridotta al minimo per ostacolare la penetrazione degli agenti chimici responsabili del suo degrado. Questo rappresenta un notevole vantaggio per il "benessere" della struttura. C'è, però, un inconveniente: la bassa porosità del materiale impedisce la fuga di vapore acqueo in caso di incendio. Questo comporta un notevole aumento della pressione all'interno del calcestruzzo in grado di causare una sua violenta esplosione.

Per risolvere questo problema, gli scienziati hanno progettato un additivo particolare da aggiungere alla miscela che consiste di fibre di polietilene. Nel prodotto finale, filamenti di plastica molto sottili sono imprigionati nella massa del calcestruzzo. Se in caso di incendio la temperatura della struttura dovesse aumentare, le fibre all'interno della matrice di calcestruzzo si scioglierebbero, creando così dei varchi da cui far uscire il vapore acqueo sotto pressione (che nel frattempo si va formando all'interno della massa di calcestruzzo per via delle elevate temperature), evitando così l'esplosione dello stesso.