

POP OUT NELLE PAVIMENTAZIONI INDUSTRIALI

A. e M. Triantafyllis

Cause occulte di vizi

SOMMARIO

Nella, a volte complessa, determinazione delle cause dei vizi, recentemente si sono confrontati, o meglio scontrati, i risultati presentati da primari laboratori italiani, pur dotati delle più moderne attrezzature, relativi alla determinazione di vizi in cui erano coinvolti alcuni requisiti degli aggregati utilizzati per la produzione del conglomerato cementizio.

La mancanza di univocità di giudizio comporta un grosso handicap da un punto di vista legale per una corretta attribuzione delle responsabilità e dei relativi oneri del ripristino.

Viene qui di seguito affrontato un esempio di caso limite in cui i giudizi di tre laboratori, coinvolti per la stessa struttura, sono stati inconcludenti o diametralmente opposti.

Tipo di struttura

Trattasi di pavimentazione industriale in calcestruzzo di resistenza caratteristica R_{ck} 25MPa, dello spessore medio di 20 cm, poggiante su massicciata di sottofondo, **senza inserimento di barriera al vapore**, armata con doppia rete Φ 6 mm, corazzata con spolvero al quarzo di colore grigio naturale. Superficie globale: 7.000 mq ca. Pavimentazione realizzata il mese di **novembre 2002**. Successivo trattamento superficiale con **film sottile di resina epossidica**, intervento richiesto dalla Committenza a terza azienda all'inizio estate del 2003, in alternativa ad impregnazione con dispersione acquosa di resina epossidica. (processo previsto inizialmente)

Tipo di vizio: pop out



Tipici pop-out evidenziati da luce radente



Il pop-out scoperchiato evidenzia un'elevata umidità nel limite della "soglia critica"

Nel mese di agosto 2003, alla riapertura dello stabilimento dopo le ferie estive, viene rilevata la presenza di pop-out.



Zona con la maggior diffusione del pop-out

All'inizio del mese di settembre, il confezionatore fornitore del calcestruzzo si è fatto carico di indagine preliminare presso un laboratorio ufficiale.

INDAGINE DEL PRIMO LABORATORIO

Indagine finalizzata alla individuazione del tipo di degrado che ha portato alla formazione di localizzati fenomeni di rigonfiamento superficiale (“pop-out”) ed hanno compreso:

- l'esame macroscopico preliminare delle carote, con individuazione delle aree più significative per la caratterizzazione dei fenomeni di degrado;
- **l'esecuzione di una sezione sottile** su una delle aree precedentemente selezionate;



Esempio di sezioni sottili da analizzare al microscopio da mineralogia.

I campioni sottoposti all'osservazione microscopica sono rappresentati da sezioni sottili, ossia porzioni di materiale ridotte per mezzo di apposita levigazione, a lamine di spessore costante (0,30 mm ca.) che vengono montate su vetrini mediante Balsamo del Canada. Le sezioni utilizzate hanno dimensioni di 2 x 3cm

- **lo studio al microscopio ottico a luce polarizzata**, con definizione delle caratteristiche tessiturali e composizionali, definizione preliminare della tipologia di degrado e delimitazione delle microaree rappresentative da sottoporre all'analisi chimica;
- **l'analisi chimica mediante microsonda a dispersione di energia (EDS)** su alcune microaree selezionate con le precedenti analisi

CONCLUSIONI DEL PRIMO LABORATORIO

“L’osservazione delle superfici interne del campione **non evidenzia fenomeni di degrado in atto**,
quali prodotti di neoformazione all’interno delle cavità o bordi di reazione all’interfaccia aggregato-pasta cementizia”.

Le analisi chimiche effettuate sulla microcavità più significative per l’individuazione di eventuali prodotti di neoformazione, **hanno dato esito negativo**, ossia **non sono stati riscontrati gli elementi caratteristici delle forme di degrado per reazioni chimiche** (reazione alcali-silice o degrado per attacco solfatico)

“ La causa dei fenomeni di rigonfiamento (“pop-out”) riscontrati sulla superficie della pavimentazione non è pertanto attribuibile ad alcun componente del calcestruzzo esaminato.”

INDAGINE DEL SECONDO LABORATORIO

- Analisi diffrattometrica
- Dosaggio sali solubili mediante cromatografia ionica
- **Misura del contenuto d'acqua**
- Determinazione della resistenza a compressione su carote di calcestruzzo, compreso taglio e rettifica
- **Analisi microstratigrafica completa di analisi all'EDS e analisi FTIR**
- **Esame petrografico di calcestruzzo**

CONSIDERAZIONI DEL SECONDO LABORATORIO

Le **analisi petrografiche** eseguite secondo normativa ASTM C856/02 hanno rilevato che la pavimentazione in oggetto è costituita da un calcestruzzo realizzato con aggregato grosso di composizione carbonatica (**calcari sparitici, calcari micritici e calcari argillosi**), sia silicatica (quarzo, arenarie).

L'osservazione eseguita in corrispondenza dell'apice di ciascun conetto di distacco (pop-out) ha permesso di rilevare una presenza di un granulo di calcare argilloso caratterizzato dalla presenza di numerose fessure interne sia radicalmente, sia parallelamente alla superficie esterna del granulo. Tali granuli di calcare argilloso presentano un diametro variabile tra 2,6 e 3,6 mm e sono posti ad una profondità variabile tra 3,5 e 5,5 mm dalla superficie della pavimentazione.

Le microfessure rilevate all'interno del granulo di calcare argilloso sono indicative di un **fenomeno di rigonfiamento** dello stesso, **innescato dalla componente argillosa presente all'interno del calcare marnoso** in seguito alla **capacità che hanno alcuni minerali argillosi di aumentare il loro volume quando entrano in contatto con l'acqua**. Quando il rigonfiamento sopra descritto avviene in prossimità della superficie della pavimentazione, esso è in grado di portare a rottura e provocare il distacco di scaglie superficiali (fenomeno di pop-out) la determinazione del contenuto d'acqua con il metodo ponderale eseguita secondo UNI 10329 ha rilevato un **elevato contenuto d'acqua variabile da un massimo di 7,96 % ad un minimo di 5,35 %**.

CONCLUSIONI DEL SECONDO LABORATORIO

“Il fenomeno di degrado in oggetto, definito dalla formazione di rigonfiamenti e da distacchi di piccoli frammenti superficiali di calcestruzzo dalla superficie della pavimentazione (fenomeno di pop-out) è **dovuto alla simultanea presenza all'interno del massetto in calcestruzzo di granuli di calcari argillosi e di elevati contenuti d'acqua, in grado di reagire con i minerali argillosi e dar luogo a fenomeni di rigonfiamento**”

INDAGINE DEL TERZO LABORATORIO

PREMESSA

... Tale danneggiamento per tipologia e caratteri morfologici **semberebbe riconducibile allo sviluppo della reazione alcali-aggregato**, che avviene in presenza di acqua o elevati valori di umidità fra gli alcali contenuti nel cemento, quando il loro tenore nel calcestruzzo supera i 2 kg/m^3 , e gli aggregati utilizzati per confezionare il calcestruzzo, quando questi risultano reattivi per la presenza di silice amorfa. Tale reazione, in funzione dell'intensità determinata dalla concentrazione locale dei reattivi, porta alla formazione di **un prodotto amorfo gelatinoso**, essenzialmente costituito da silicato idrato alcalino, che indurisce all'aria e genera pressioni capaci di produrre fessurazioni diffuse nel calcestruzzo ed espulsioni di frammenti dello stesso con forma conica (pop-out) in prossimità della superficie dei getti.



Prodotto amorfo gelatinoso espansivo, **non ritrovato** dalle analisi né come gel, né come prodotto indurito, costituito da silicato idrato alcalino (sostanza vetrosa)

L E ANALISI CONDOTTE DAL TERZO LABORATORIO:

- **Determinazione delle resistenze meccaniche sia con prova a compressione sia mediante verifica della velocità di propagazione delle onde ultrasoniche**
- **Osservazioni allo stereomicroscopio ottico e al microscopio elettronico a scansione**
- **Prova per la valutazione della potenziale reattività residua agli alcali degli inerti**
- **Analisi allo stereomicroscopio ottico e al microscopio elettronico a scansione delle parti corticali prelevate all'estradosso**
- **Analisi chimica elementare mediante spettroscopia di raggi X a dispersione di energia delle parti corticali**

RISULTATI DEL TERZO LABORATORIO

I dati rilevati sulle numerose carote per tale velocità autorizzano a ritenere improbabile la microfessurazione generata dalla reazione alcali-aggregato.

Non si evidenziano diffuse formazioni a carattere vetroso.

Su tali frammenti è stata quindi effettuata l'analisi chimica elementare mediante spettroscopia di raggi X

Dopo sei mesi di immersione NON sono state rilevate variazioni significative della velocità degli impulsi ultrasonici né tanto meno variazioni di lunghezza delle carote riferibili a fenomeni di espansione indotte dalla reazione alcali-aggregato.

Tali analisi evidenziano morfologie tipiche di formazioni a carattere vetroso anche se non diffuse

Il risultato **SEMBREREBBE** confermare la presenza della reazione alcali- aggregato all'interfaccia fra massetto e strato superficiale antiusura, **peraltro fortemente sospettata in base alla tipologia e alla morfologia del danneggiamento.**

Analisi chimica elementare mediante spettroscopia di raggi X a dispersione di energia delle parti corticali

Proprio questa circostanza, unitamente alla considerazione che il massetto della pavimentazione non presenta alcun evidente segno di deterioramento, **indica che la reazione alcali-aggregato si è sviluppata all'interfaccia fra massetto e strato indurito per le seguenti ragioni:**

- a. L'elevata concentrazione di alcali per l'elevato dosaggio di cemento presente nello spolvero indurente
- b. la presenza di una certa umidità nella zona [5-6-7%]
- c. La presenza sulla pavimentazione di una pellicola di materiale polimerico a base di resine epossidiche che ha favorito l'accumulo di umidità nella parte superficiale dello stesso, portando a superare, mantenendolo costante, il tenore di umidità riconosciuto nella letteratura tecnica come **SOGLIA CRITICA** per lo sviluppo della reazione alcali-aggregato; non sembra peraltro casuale che laddove la pellicola risulti asportata, il danneggiamento non si sia verificato dimostrando che, se la mancanza di un'adeguata barriera al vapore alla base della pavimentazione ha consentito che acqua arrivasse alla superficie della stessa creando il rischio della reazione alcali-aggregato, **la presenza della pellicola è stata certamente determinata per lo sviluppo della reazione stessa.**

[Commento degli autori ai risultati del terzo laboratorio: non vi è dimostrazione evidente della presenza della reazione alcali-aggregato; **le cause del vizio sono pertanto solo ipotizzate**, ma non esaustivamente dimostrate]

CONCLUSIONI DEGLI AUTORI

IL PRIMO LABORATORIO

Il primo laboratorio, concludendo che ***“La causa dei fenomeni di rigonfiamento (“pop-out”) riscontrati sulla superficie della pavimentazione non è pertanto attribuibile ad alcun componente del calcestruzzo esaminato”***, ha dato una risposta **inconcludente e non utile a dipanare il contenzioso, escludendo una reazione alcali-aggregato, senza trovare alcuna altra causa alternativa.**

IL SECONDO LABORATORIO

Il secondo laboratorio conclude che la causa ***“è dovuta alla simultanea presenza all’interno del massetto in calcestruzzo di granuli di calcari argillosi e di elevati contenuti d’acqua, in grado di reagire con i minerali argillosi e dar luogo a fenomeni di rigonfiamento”***. Tale risultato è suffragato dall’aver rilevato la presenza di granuli calcareo- argillosi, capaci di rigonfiare in presenza di elevata presenza d’acqua

E’ stata individuata una plausibile e valida causa, a differenza del primo laboratorio che si è arreso in modo inconcludente.

IL TERZO LABORATORIO

Il terzo laboratorio afferma che il “risultato di alcune analisi **SEMBREREBBE** confermare la presenza della reazione alcali-aggregato all'interfaccia fra massetto e strato superficiale antiusura, **peraltro fortemente sospettata** in base alla tipologia e alla morfologia del danneggiamento.

La attribuzione della causa è diametralmente opposta a quella del laboratorio n° 2 ed in disaccordo con il laboratorio n° 1, non sufficientemente dimostrata, ma solo avallata dal fatto che il **pop-out dovrebbe essere necessariamente il risultato esclusivo di una reazione alcali-aggregato**, non ricordando quanto affermato, ad esempio, dal Prof. Adam M. Neville nel suo testo “**Properties of Concrete**”, che attribuisce il fenomeno (fisico) espansivo anche alla presenza di **“calcari striati da argilla espansiva o comunque contenenti minerali colloidali argillosi del gruppo delle montmorilloniti e delle illiti, che godono della proprietà di rigonfiarsi assorbendo acqua e dando luogo ad un idrogel plastico.”**