

# Difetti delle pavimentazioni in calcestruzzo

di Vito Alunno Rossetti\*, Antonella Ferraro

## **Analisi dei principali difetti delle pavimentazioni in calcestruzzo e suggerimenti sulla loro corretta esecuzione**



### Introduzione

Le pavimentazioni in calcestruzzo sono comunemente considerate opere di facile realizzazione che spesso, per questo motivo, non ricevono l'attenzione necessaria. Si tratta in realtà, di strutture difficili da eseguire, soprattutto per le notevoli implicazioni tecnologiche che spesso ne influenzano la buona riuscita. Nella realizzazione di una pavimentazione intervengono una serie di variabili e di fattori che, se non tenuti in giusta considerazione, possono determinare inconvenienti tali da comprometterne le prestazioni e la durabilità e generare contestazioni e contenziosi. **La qualità di un pavimento risiede quasi esclusivamente nel raggiungimento di una superficie in grado di sopportare i carichi di progetto, priva di fessure e difetti, resistente all'usura, piana conformemente alle prescrizioni e durevole.** Per ottenere questi risultati oltre all'impiego di un calcestruzzo di qualità sono necessarie attente operazioni di getto e di posa in opera. Il fattore critico principale di queste operazioni è la sequenza temporale entro la quale vengono effettuate; purtroppo non sempre vengono rispettati tempi appropriati nelle operazioni di getto, di finitura e soprattutto di taglio dei giunti: la lavorabilità del calcestruzzo, i tempi di presa e di indurimento, le deformazioni da ritiro plastico, termico e igrometrico, sono tutte variabili da controllare perché influiscono sulle caratteristiche delle superfici e quindi sulle prestazioni delle pavimentazioni. Spesso è la mancata progettazione o una progettazione non sufficientemente orientata agli aspetti tecnologici che conduce al degrado delle pavimentazioni in calcestruzzo: non si tiene conto dei giunti di controllo, di costru-

### **Concrete floors imperfections**

Vito Alunno Rossetti, Antonella Ferraro

Concrete floors are often considered relatively easy to produce structures. This paper reviews the critical issues that should be addressed when designing and realizing a concrete floor to minimize undesirable characteristics such as cracking, low resistance to wear, pop-out due to alkali-aggregate reaction and scaling. The authors also suggest a specification approach which realistically accepts the limitation of the undesirable characteristics to floor and structure serviceability.

\* Dip. ICMMPM - Università di Roma "La Sapienza"



“Le pavimentazioni in calcestruzzo sono strutture difficili da eseguire, per le notevoli implicazioni tecnologiche che spesso ne influenzano la buona riuscita.”



*Fig. 1 Posa in opera direttamente sulla massicciata dell'armatura di una pavimentazione industriale*

zione, di isolamento, di dilatazione, degli spessori minimi necessari e dei particolari costruttivi. A tutto ciò si aggiunge anche il fatto che in fase esecutiva non si tiene sempre conto delle scelte progettuali: in Figura 1 si può vedere, per esempio, come l'armatura non è posizionata in modo corretto (almeno 6 cm dalla massicciata di sottofondo) ma per accelerare le operazioni, è posta direttamente sulla massicciata, ove ovviamente risulta del tutto inutile. Nel presente articolo si descrivono difetti ricorrenti delle pavimentazioni in calcestruzzo, spiegandone le manifestazioni, le cause, nonché i possibili provvedimenti per evitarli.

## DIFETTI COMUNI

### I- FESSURE

Di sicuro, i difetti più comuni riscontrati sulle pavimentazioni sono le fessure, che per la loro dimensione, apertura e morfologia possono essere ascritte a diverse cause come viene chiarito nei paragrafi seguenti.

#### *Fessure da ritiro plastico*

Questo tipo di fessure si genera durante la fase plastica del calcestruzzo (da cui il loro nome) e perciò durante le prime ventiquat-



Fig. 2a Fessurazione da ritiro plastico

Fig. 2b Pavimento e fessure della Fig.2a dopo alcuni anni

tro ore dal momento del getto; sono facilmente riconoscibili per la loro morfologia (Fig. 2) in quanto presentano invariabilmente gruppi di tre fessure che si dipartono da un unico punto. Possono essere facilmente evitate all'atto della costruzione, avendo cura di impedire una rapida evaporazione dell'acqua dalla superficie del conglomerato dopo il getto, il che si realizza generalmente con l'applicazione tempestiva (subito dopo la finitura) di antievaporanti oppure teli di polietilene. La seconda soluzione va attuata tenendo presente che sia il contatto diretto che l'eventuale gocciolamento di condensa sulla pavimentazione possono danneggiarne l'aspetto. La presenza di questo tipo di fessure è sempre indice di noncuranza o scarsa capacità tecnologica da parte dell'esecutore e, in funzione del tipo di esercizio, può pregiudicare pesantemente la funzionalità del pavimento.

Le Figure 2a e 2b mostrano l'evoluzione delle fessure nel giro di alcuni anni per effetto del traffico di carrelli a ruote in gomma piena (si tratta di un centro di smistamento della posta).

Tra l'altro le due foto permettono di contestare quanto previsto in proposito nel Codice di Buona Pratica, CON.PAV.1 (seconda Ed. Riv. e Corretta, 8.3.1 Stato limite di apertura delle fessure), che oltre ad affermare che "le esigenze estetiche non devono essere considerate", fissa altresì limiti di accettabilità in funzione principalmente del tipo di esposizione (non è cemento armato!). Così per transito di carrelli è ammessa apertura W3, oltre 1.5 mm senza limite superiore!

### ***Cavillature a carta geografica***

Sono fessure di apertura limitata (in questo contesto meno di 0,2 millimetri) raggruppate tra di loro in modo da formare il co-





Fig. 3 Fessurazione: cavillature a carta geografica



Fig. 4 Fessura lineare da 1.3 mm

siddetto "reticolo a carta geografica" (Fig. 3); a volte risultano assai poco evidenti tanto da poter essere rilevate solo in fase di asciugatura della superficie. Tali cavillature, che si producono generalmente per motivi analoghi a quelli che causano le fessure da ritiro plastico, costituiscono un difetto del pavimento destinato ad aggravarsi progressivamente, a seguito del traffico e anche di ulteriori fenomeni di ritiro da essiccamento.

### **Fessure lineari**

Oltre alle fessure ramificate da ritiro plastico, sulle pavimentazioni sono spesso presenti fessure lineari, fino ad alcuni metri di lunghezza e di apertura fino a 2 mm; per lastre gettate in strisce allungate risultano parallele al lato corto.

Si tratta di fessure formate di solito a seguito di fenomeni combinati di **ritiro da essiccamento (o igrometrico)** e di **ritiro termico** (Fig. 4). Il **ritiro da essiccamento** è una forma di ritiro che si verifica lentamente nel tempo, anche per diversi anni, ed è dovuto all'essiccamento progressivo del calcestruzzo che si verifica in tutti gli ambienti ad un'umidità minore del 95%.

In tempi brevi (2-3 giorni, si può avere una frazione elevata del ritiro finale, anche 30-40%) poiché, a causa del basso grado di idratazione e, quindi dell'elevata porosità della pasta di cemento, in condizioni sfavorevoli la perdita d'acqua può avvenire velocemente.

Il **ritiro termico** è dovuto al fatto che il calcestruzzo, dopo essere stato posato in opera, a seguito dei fenomeni di idratazione del cemento e dello sviluppo del calore di idratazione, presenta un incremento della temperatura che nel caso di manufatti sottili, e con un dosaggio medio-basso di cemento, come è il caso delle pavimentazioni, può raggiungere all'incirca i 10 gradi. Dopo meno di ventiquattro ore la temperatura del calcestruzzo comincia a diminuire e il calcestruzzo stesso a contrarsi.

I due fenomeni di ritiro ora descritti si sovrappongono, ma dato che la lastra di calcestruzzo non è libera di contrarsi a causa dell'aderenza con il sottofondo, nascono delle tensioni che portano alla formazione delle fessure. Anche le fessure di questo tipo potrebbero essere facilmente evitate, qualora il taglio delle lastre di calcestruzzo, con la formazione dei riquadri, venisse operato





Fig. 5 Fessura lineare dovuta alla mancanza di un giunto di isolamento del pilastro

tempestivamente (non appena possibile senza danneggiare la lastra) in modo da innescare le inevitabili fessure in corrispondenza dei tagli stessi.

Spesso si possono verificare, nel caso in cui non sono previsti dei giunti di isolamento degli elementi strutturali verticali, delle fessure lineari del tipo di quelle che si osservano in Figura 5, dovute anch'esse ai fenomeni precedentemente descritti.

Praticamente tutte le volte che si formano le fessure lineari l'applicatore procede anche al taglio dei giunti (sono previsti in contratto!). E' palese l'inutilità e quindi la dannosità di frammentare ulteriormente le lastre dopo che la maggior parte del ritiro si è già verificata!

## 2- PROBLEMI DI "POP-OUT"

### "Pop-out" da reazione alcali-aggregato

Nelle pavimentazioni, soprattutto in quelle industriali a spolvero indurente, si può riscontrare un tipo di difetto consistente nella formazione e successivo distacco di conetti di calcestruzzo dalla superficie del pavimento, aventi diametro di circa 1 fino a circa 3 centimetri, dell'altezza dell'ordine di 2÷3 millimetri. Nel punto in cui il conetto si distacca, sulla superficie rimane una cavità conica della stessa dimensione.

Questa alterazione, designata con il nome di "pop-out", è per lo più l'effetto della ben nota reazione alcali aggregato[1], cioè la conseguenza della reazione tra gli alcali presenti nel calcestruzzo e nello spolvero indurente (derivanti principalmente dal cemento) e gli aggregati reattivi del calcestruzzo o dello spolvero, in presenza di sufficiente umidità. Al centro dei coni di solito si riscontra la presenza di una particella di aggregato, a volte visibilmente alterato (Fig. 6, in cui si può osservare come invecchiando il gelo silicatico di aspetto gelatinoso si trasforma in una polvere bianca), di dimensione che si aggira sull'ordine dei 5÷15 millimetri, più grande di quella della sabbia che costituisce lo spolvero indurente; a volte il granulo che ha generato il "pop-out" è diviso in una parte aderente al conetto distaccato e in una parte rimasta al fondo della cavità sul pavimento. In genere, in Italia, i granuli di aggregato alterato si presentano di colore grigio verdastro e,



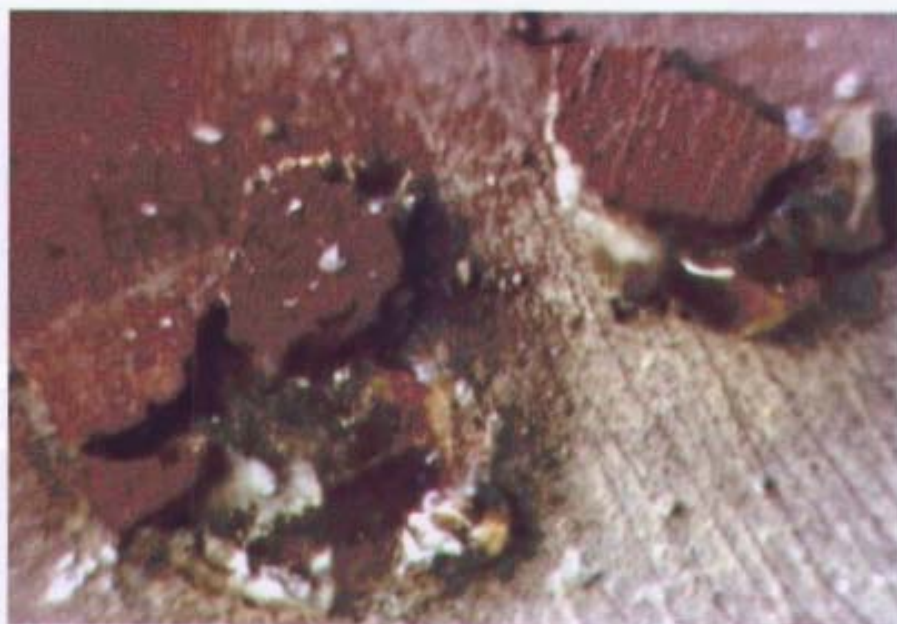


Fig. 6 Formazione di "pop-out" da alcali reazione

si è riscontrato tramite Diffrazione di Raggi X (XRD) che di solito sono costituiti da associazioni di quarzo reattivo e carbonato di calcio (calcarenti).

Il fenomeno è ormai ben conosciuto, specialmente nelle regioni in cui si utilizzano aggregati delle alluvioni dell'Appennino orientale (ad esempio il Reno, o il Biferno o il Trigno). Le analisi degli aggregati della zona mostrano molto spesso la presenza di materiale reattivo e quindi il fenomeno deve essere previsto. E ciò a maggior ragione sapendo che le pavimentazioni a spolvero indurente sono i manufatti più colpiti, a causa dell'elevata concentrazione di alcali alla superficie di estradosso, dovuta all'elevato dosaggio di cemento dello spolvero e alla risalita d'acqua dalla massicciata e dall'interno verso la superficie del calcestruzzo.

Inoltre, le norme non ignorano questo argomento, infatti:

- da alcuni anni è disponibile la **Norma UNI 8981/8** che dà le necessarie indicazioni per prevenire il fenomeno;
- le **Linee Guida del Cons. Sup. dei Lavori Pubblici (1996)** mettono sull'avviso riguardo alla reazione alcali-aggregato,
- il **Codice di Buona Pratica della CON.PAV.I** mette in guardia i pavimentisti riguardo al problema, nel paragrafo "Prevenzione della reattività degli aggregati". Per tali motivi sia l'im-





Fig. 7a Formazione di bolle in una pavimentazione rivestita in resina  
Fig. 7b Gel costituito da silicati alcalini che inizia a essiccarsi e ad assumere un aspetto farinoso

presa che il produttore del calcestruzzo e l'esecutore della pavimentazione, non devono omettere di prendere elementari precauzioni, del tutto ovvie in quelle zone e, tra l'altro, specificate nelle Norme.

### **“Pop-out” sotto rivestimento di resina**

La formazione di bolle o protuberanze (come nel caso di Fig. 7a, di diametro fino a circa 3 centimetri, sollevate fino a circa 5 mm) provocata dalla reazione alcali-aggregato al di sotto di strati di resina, non è descritta nella letteratura tecnica/scientifica. Tuttavia questa è stata l'origine del fenomeno riscontrato: sono stati ritrovati granuli reattivi di quarzo deformato e quindi reattivo, che in presenza di alcali nel cemento e di qualche infiltrazione d'acqua attraverso il calcestruzzo, hanno reagito, generando il tipico gel costituito da silicati alcalini e caratterizzato da capacità espansive (in Fig. 7b si può osservare, a distanza ravvicinata, il gel essiccato presente vicino all'aggregato reattivo della pavimentazione di Fig. 7a). Normalmente questo gel è capace di staccare dischetti di spolvero indurente dalle superfici dei pavimenti industriali (fenomeno del “pop-out”); in questo caso la capacità espansiva non è stata tale da vincere la resistenza meccanica e la capacità di deformazione della resina: per questo motivo si sono formati solo dei rigonfiamenti. Nella realizzazione di pavimentazioni con strato superficiale in resina l'errore più ricorrente è che lo strato superficiale impermeabilizzante (la resina) venga applicato su calcestruzzo nel quale l'acqua possa pervenire dalla massicciata o che si trovi al momento saturo d'acqua, ad esempio per effetto di un lavaggio. In queste condizioni l'acqua, non essendo richiesta per l'ulteriore idratazione del cemento, rimane presente anche per tempi molto lunghi nella porosità capillare della pasta di cemento ed essendo ricca di alcali, come si è detto, innesca la reazione alcali-aggregato. Situazioni del genere sono più frequenti di quanto non si possa ritenere, anche in assenza di massicciata: nella foto della Fig. 8 è rappresentato un caso relativo al pavimento a spolvero su solaio di un negozio, trattato con resina non traspirante subito dopo un lavaggio.



### Reazione alcali-aggregato senza formazione di "pop-out"

In una pavimentazione industriale, realizzata con la tecnica dello spolvero indurente, si è avuto un fenomeno alquanto diverso da quello dei "pop-out" dovuti alla reazione alcali-aggregato, in quanto non c'è stato danneggiamento né espulsione di materiale dalla superficie del calcestruzzo. In tale occasione si è potuto constatare la presenza di una modesta difettosità, consistente in numerose macchie scure sulla superficie del pavimento (dimensione fino a 2 cm, Fig. 9). Ad una osservazione ravvicinata tali macchie sono risultate in realtà dei depositi di un materiale grigio tendente al nero (probabilmente per l'assunzione di polvere), di una consistenza cerosa, facilmente prelevabile mediante una lama e quasi completamente solubile in acqua. In merito alle cause del fenomeno, in base ai risultati di alcune determinazioni, si può affermare che la reazione che ha portato alla formazione di un essudato, ha interessato essenzialmente grossi granuli contenenti quarzo a basso grado di cristallinità presenti nel calcestruzzo. Inoltre, il prodotto della reazione è un silicato sodico potassico (individuato anche mediante test colorimetrico), comunemente rinvenuto tra i prodotti dell'alcali reazione nei "pop-out", a conferma che tale reazione è all'origine delle macchie formatesi. La formazione dell'essudato (di aspetto gelatinoso e incolore se non viene a contatto con la polvere) si verifica spontaneamente allorché c'è un sufficiente afflusso e passaggio d'acqua per capillarità ed evaporazione (come verificato anche in laboratorio, vedi Fig. 10). La precauzione di utilizzare un telo di plastica interposto tra il massetto e lo spolvero indurente (frequentemente utilizzata per realizzare una barriera al vapore ed alla risalita d'acqua come del resto prevede anche il codice di Buona Pratica della CON.PAV.I), avrebbe con ogni probabilità evitato il fenomeno.

### "Pop-out" da fascetti di fibre

Tra i difetti riscontrati, risulta molto particolare quello rinvenuto in una pavimentazione, realizzata con l'aggiunta al calcestruzzo di fibre polimeriche per evitare le fessure da ritiro plastico. Fascetti di fibre sotto la superficie di estradosso del pavimento hanno causato (forse per rigonfiamento del collante) il distacco dei



Fig. 8 "Pop-out" su pavimento in calcestruzzo resinato



Fig. 9 Macchie sul pavimento



Fig. 10 Essudato riprodotto su una carota mantenuta con la parte inferiore in acqua





Fig. 11 Fascetti di fibre al di sotto di un "pop-out"



Fig. 12 Granulo nero al fondo di un "pop-out"

"pop-out" come si può vedere in Figura 11. Un'accurata miscelazione avrebbe evitato l'inconveniente.

### **"Pop-out" neri**

Oltre a quelli già descritti, in alcune pavimentazioni sono stati riscontrati anche dei "pop-out" associati alla presenza di particelle nere. In particolare, è capitato di vedere sulla pavimentazione dei piani di un parcheggio, dei difetti di aspetto simile a quello dei "pop-out" dovuti all'alcali reazione. Al fondo di tali conetti, invece del tipico granulo di aggregato alterato, si è riscontrata la presenza di un granulo sempre di colore nerastro, di forma approssimativamente discoidale o rettangolare e di spessore da 1 a 4 millimetri (ingrandimento nella Fig. 12). Tali particelle, inoltre, hanno la caratteristica di apparire più leggere dei granuli di aggregato normale. Per individuare con sicurezza la natura di questo materiale, sono state applicate diverse tecniche di indagine: la Diffrazione di Raggi X (XRD), l'analisi termogravimetrica e termica differenziale hanno permesso di riconoscere la presenza di carbone; ma non si è potuto stabilire la sua origine, se derivante dal calcestruzzo o da materiale presente in cantiere, di cui l'esecutore della pavimentazione non ha tenuto conto.

### **"Pop-out" da polistirolo**

Sulla pavimentazione che presentava granuli di carbone è stato trovato anche un ulteriore tipo di "pop-out"; questa volta al fondo dei conetti che si distaccano dalla superficie si è riscontrata la presenza di palline di polistirolo facilmente identificabili. In questo caso non sussiste alcun dubbio in merito alla totale responsabilità dell'esecutore della pavimentazione. Frammenti di materiali estranei sono comuni in cantiere, ma con un minimo di dovuta attenzione questi difetti potrebbero essere evitati.

## **3- DISTACCHI DELLO SPOLVERO**

### **Distacchi per applicazione anticipata dello spolvero**

È intuitivo il fatto che l'applicazione dello spolvero e la sua lavorazione, consistente in una lisciatura e applicazione di pres-



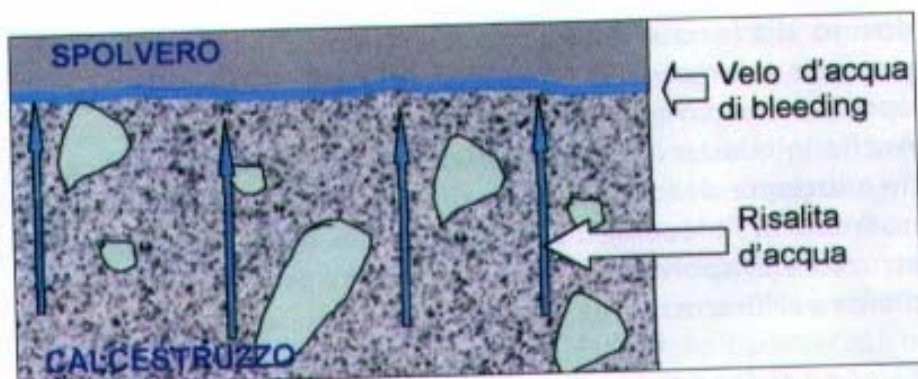


Fig. 13 Schema della formazione di una lente d'acqua tra lo spolvero e il calcestruzzo: la causa del distacco dello spolvero

sione, produce sulla superficie del calcestruzzo uno straterello, di circa 3 mm di spessore, compatto e assai poco permeabile: la conseguenza è che l'eventuale ulteriore affioramento di "bleeding" viene ostacolato o impedito.

L'affioramento d'acqua alla superficie del calcestruzzo, ostacolato dalla presenza dello strato impermeabile di spolvero, come schematizzato nella Fig. 13, produce la formazione di una lente d'acqua tra il calcestruzzo e lo spolvero.

È evidente il fatto che questa lente d'acqua costituisce una discontinuità e accresce localmente il rapporto acqua/cemento; entrambi i fattori indeboliscono il legame tra i due strati e successivamente il facile distacco.

Nella foto di Figura 14 si possono osservare particolari impronte circolari circondate da microfratture, anch'esse circolari; questo difetto aveva suscitato notevole curiosità tra gli operatori e il proprietario del pavimento. Si trattava semplicemente dell'effetto di precedenti battiture con oggetti metallici (probabilmente un tondino d'armatura) effettuate proprio allo scopo di evidenziare il distacco dello strato di spolvero dal conglomerato.

### **Distacchi dovuti a gelate**

Il congelamento della lastra di calcestruzzo subito dopo la finitura può danneggiare gravemente la pavimentazione. Nel caso della Figura 15 i distacchi dello spolvero sono stati causati dallo sviluppo di tensioni in seguito all'aumento di volume



Fig. 14 Reticolo di cavillature e impronte circolari





Fig. 15 Distacco dello spolvero dovuto ad una gelata notturna

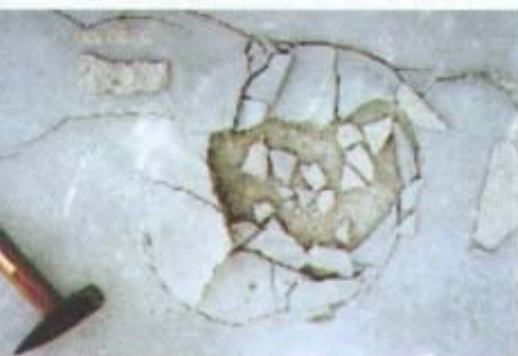


Fig. 16 - Rigonfiamenti circolari sulla superficie del pavimento

dovuto alla formazione di ghiaccio durante la notte (con temperature inferiori a 0°C) e riscontrati l'indomani la posa in opera di una pavimentazione all'aperto.

Anche in questo caso, il danno è stato causato dall'applicazione anticipata dello spolvero, prima cioè che si esaurisse il fenomeno di "bleeding", per cui l'acqua rimasta tra il calcestruzzo e lo spolvero si è congelata e ha provocato l'inconveniente verificatosi.

### **Distacchi con formazione di gas**

In concomitanza con l'impiego di fumo di silice nel calcestruzzo, aggiunto allo scopo di evitare i "pop-out" da reazione alcali-aggregato, alcune pavimentazioni industriali hanno presentato notevoli problemi di distacco di scaglie circolari di grosse dimensioni (fino a 50-60 cm di diametro e di spessore di alcuni mm, Fig. 16). Una caratteristica assai particolare del fenomeno osservato è stato il fatto che durante il suo manifestarsi si è osservato, in presenza di un sottile velo d'acqua sulla superficie, uno sviluppo di gas (formazione di bollicine tipo effervescenza), dopo circa 24 ore dalla posa in opera del conglomerato.

Lo sviluppo di gas, insieme alla conoscenza del fatto che il fumo di silice può contenere particelle di silicio (verificata in seguito sul fumo di silice adoperato) che in presenza di una soluzione basica genera idrogeno, ha portato a spiegare il fenomeno come conseguenza di una pressione generata dal gas sotto lo strato corticale dello spolvero, poco permeabile.

## **COSA NON SI PUÒ PRETENDERE DA UNA PAVIMENTAZIONE**

**Nel caso di pavimentazioni in calcestruzzo di grandi superfici ottenere una pavimentazione esente da difetti diventa un'impresa praticamente quasi impossibile.**

Nelle Figg. 17 e 18 sono riportati alcuni difetti (fessure lineari e ramificate da ritiro, casi di viraggio di colore della superficie, chiazze bianche da associare al percolamento di acqua nelle fessure con asportazione di idrossido di calcio) riscontrati sulla pavimentazione in calcestruzzo di una piazza monumentale



a Firenze, in cui il Progettista ha concepito particolari caratteristiche estetiche (una grande superficie omogenea, realizzata in "calcestruzzo colorato", con l'aggregato grosso in evidenza, non interrotta da giunti di dilatazione né di contrazione), senza tener conto dei problemi tecnologici e dei comportamenti propri del calcestruzzo (ritiro).

In questo caso, anche se il progetto della pavimentazione trova una valida giustificazione di carattere estetico, risulta evidente la velleità di realizzare una superficie dalle caratteristiche specificate impiegando la tecnologia disponibile. Si è cioè verificato uno scollamento tra la visione del progettista e la pavimentazione realizzata, anche se i risultati sono quelli che era logico aspettarsi (nel senso che non si poteva fare molto meglio).

### Conclusioni

Come risulta anche dalla rassegna presentata in questa nota che certamente prende in considerazione una parte limitata della casistica (ad esempio le macchie e i difetti dei giunti non sono stati considerati), le possibilità di commettere errori e costruire una pavimentazione difettosa sono numerose e spessissimo vengono attuate. Non può destare meraviglia il fatto che intorno a questi manufatti ruotino da sempre contestazioni e cause in tribunale. A volte i difetti vengono tollerati, quasi fossero inevitabili e le conseguenze si patiscono durante tutto l'esercizio.

**Si può evitare tutto questo? Si può chiedere e ottenere un pavimento privo di difetti?**

**A parere degli scriventi la risposta è NO; realizzare un pavimento perfetto è estremamente difficile.** Ciò che però si dovrebbe sempre pretendere è una pavimentazione con un numero di difetti (in particolare di fessure) minore di una quantità chiaramente definita in capitolato, con previsione di deprezzamenti e di demolizioni proporzionati alla difettosità. Con un approccio di questo tipo uno degli scriventi ha ottenuto la realizzazione di un pavimento di più di 50000 m<sup>2</sup> con meno dello 0,5 % di lastre fessurate, ampiamente al di sotto del limite previsto dell'1%.



Fig. 17 Fessure di una pavimentazione monumentale



Fig. 18 Macchie bianche e difetti di colorazione della pavimentazione

### Bibliografia

[1] Vito ALUNNO ROSSETTI "Il Calcestruzzo - materiali e tecnologia" Ed. McGraw-Hill, 2003 pag. 291