

## **Le problematiche nelle pavimentazioni industriali in calcestruzzo**

### **PROBLEMATICHE RICORRENTI**

#### **Indice**

1. Imbarcamento delle lastre
2. Delaminazioni
3. Fessure dagli spiccati in elevazione
4. Fessure all'interno dei riquadri
5. Sbrecciatura dei bordi dei giunti
6. Microcavillature a ragnatela
7. Pop -out
8. Gelo-disgelo e sali disgelanti
9. Efflorescenze
10. Finitura
11. Differenze cromatiche
12. Planarità ( metodi di misura)
13. Orizzontalità - Pendenze
14. Appendice

*a cura di Alberto Triantafillis*  
*Studio Tecnico C.T.C. S.r.l. -Treviso*  
[ctcsnc@usa.net](mailto:ctcsnc@usa.net) - [www.ctcsnc.com](http://www.ctcsnc.com)

**C.T.C.**  
**Concrete Technologies Consultants S.r.l.**

Uffici: Via Paolo Veronese 5 – 31100 Treviso Tel. & fax 0422/579137-email [ctcsnc@usa.net](mailto:ctcsnc@usa.net) - C.F./P.I. 02369790262  
pec – [ctc.snc@pec.it](mailto:ctc.snc@pec.it) - Capitale Sociale i.v. € 15.000,00

## 1. Imbarcamento delle lastre

Questo fenomeno si manifesta su tutti i pavimenti di calcestruzzo ed è una conseguenza in prevalenza dovuta all'elevato rapporto tra superficie esposta all'aria e sezione della pavimentazione. La superficie superiore è infatti direttamente esposta all'evaporazione; quella inferiore è invece a contatto con il sottofondo, in particolare se a contatto di uno strato di scorrimento costituito da teli di polietilene e quindi non interessata da tale fenomeno. Il calcestruzzo esposto all'aria è pertanto soggetto ad un'evaporazione più rapida, e quindi ad un maggior ritiro di quello all'intradosso. Piastre sottili (cioè con un elevato rapporto superficie/sezione), così come piastre realizzate su supporti impermeabili (barriere al vapore, pavimenti vecchi, solette ecc.), tendono a subire un maggior imbarcamento delle piastre realizzate su supporto drenante.



Fig.1. Imbarcamento per effetto "curling"



**Foto1.** Lastra sottile sollevata per "effetto curling" e mancanza barrotti di trasferimento carichi

Per prevenire il fenomeno di imbarcamento delle lastre o *curling*, il migliore accorgimento è di coprire la pavimentazione, non appena ultimata, con teli di polietilene opportunamente nastrati e zavorrati, per impedire che la

**C.T.C.**  
**Concrete Technologies Consultants S.r.l.**

Uffici: Via Paolo Veronese 5 – 31100 Treviso Tel. & fax 0422/579137-email [ctcsnc@usa.net](mailto:ctcsnc@usa.net) - C.F./P.I. 02369790262  
pec – [ctc.snc@pec.it](mailto:ctc.snc@pec.it) - Capitale Sociale i.v. € 15.000,00

ventilazione possa sollevare o rimuovere i teli di protezione. La maturazione della pavimentazione deve essere mantenuta il più a lungo possibile (28 gg) ed in ogni caso mai inferiore a 2 settimane. Una volta raggiunta una elevata resistenza del conglomerato cementizio, la possibilità di imbarcamento diminuisce sensibilmente o si annulla.

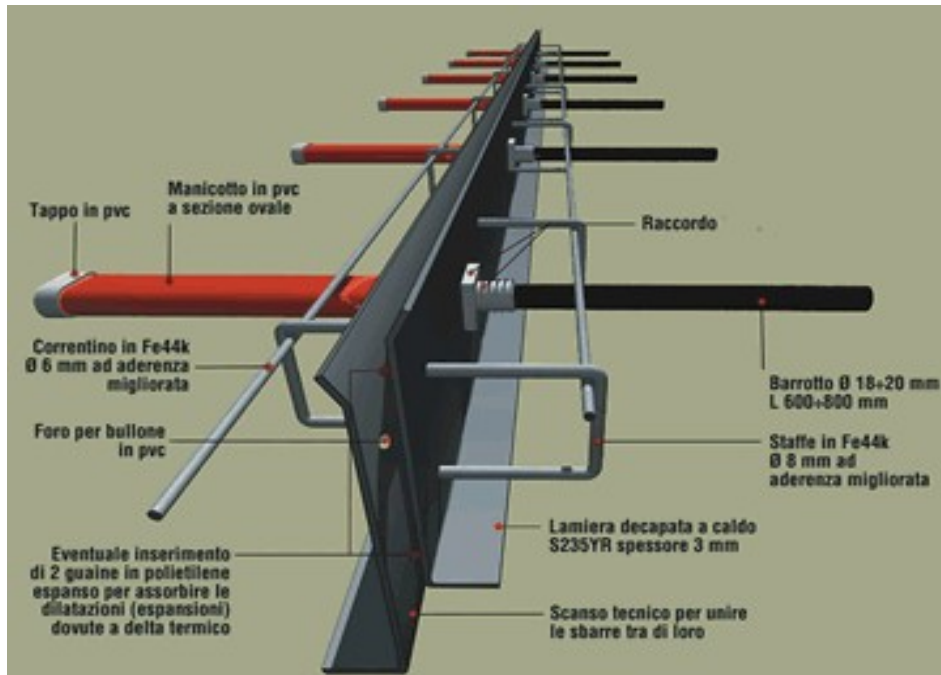


**Foto 2.** Massetto flottante si soli 8-9 cm, stagionato per 4 settimane con copertura con teli di polietilene. Planarità media rilevata 1,2 mm anche a callo dei giunti di costruzione [ Ospedale Hos.AL.VI. Thiene]

Con stagionatura inadeguata l'imbarcamento avviene prevalentemente in corrispondenza dei **giunti di costruzione**, soprattutto se realizzati senza giunti tecnici e relativi barrotti di trasferimento carichi. Il passaggio di carrelli determina lo sbrecciamento/frantumazione del giunto di costruzione.



**Foto 3.** Giunto di costruzione realizzato per accostamento, senza giunto tecnico e i barrotti di trasferimento carichi -Allargamento ed imbricamento



**Fig.2.** Giunto a barrotti prefabbricato.

Il valore dell'imbarcamento può essere determinato utilizzando un regolo rettilineo munito di piedini posizionato a cavallo del giunto e misurato "a vista" o meglio con un calibro digitale.

## **2. Delaminazioni**

Le cause della formazione delle delaminazioni sono ormai identificate e riconducibili essenzialmente a:

### **2.1. inglobamento d'aria oltre la soglia critica**

Inglobamento di 2 diversi tipi di aria nel cls oltre la soglia critica del 3% :

- *schiume e aria fine approx. da 10 a 250 micron;*
- *aria grossolana, da 300 micron a più mm*

con delaminazioni di diverso spessore; identificazione mediante prove di:

1. *determinazione dei vuoti d'aria nel calcestruzzo indurito secondo **UNI 480-11***
2. *massa volumica, ( confronto tra la massa volumica in opera e la massa volumica standard della ricetta)*



**C.T.C.**  
**Concrete Technologies Consultants S.r.l.**

---

Uffici: Via Paolo Veronese 5 – 31100 Treviso Tel. & fax 0422/579137-email [ctcsnc@usa.net](mailto:ctcsnc@usa.net) - C.F./P.I. 02369790262  
pec – [ctc.snc@pec.it](mailto:ctc.snc@pec.it) - Capitale Sociale i.v. € 15.000,00

2.2. **bleeding ritardato oltre i tempi di finitura** ( fenomeno identificabile con prove petrografiche in sezione sottile, riscontrando la formazione di **calcite**)

**2.3. affioramento di frazioni limo-argillose** (rilevamento mediante prove petrografiche)

**2.4. errati interventi esecutivi:**

- *ritardo di applicazione dello spolvero su cls. ormai in fase di indurimento (delaminazioni nette e pulite, senza malta del cls).  
Giudizio visivo*
- *spessori troppo elevati per essere inglobati a spolvero ( concausa)*
- *anticipata applicazione dello spolvero indurente, quando ancora il tacco degli operatori affonda abbondantemente nella superficie del calcestruzzo*

**2.5. severe cause ambientali** ( valutazioni visive e strumentali)

- *elevata velocità del vento*
- *bassa umidità relativa*
- *innalzamento della temperatura*
- *esposizione diretta ai raggi solari*

L'applicazione dello spolvero indurente e la successiva frattazzatura sono **operazioni che richiedono una rigorosa tempestività** in relazione alla consistenza del calcestruzzo in superficie: esse non debbono essere eseguite troppo presto, né troppo tardi.

Infatti, se lo spolvero viene applicato **troppo tardi**, su un calcestruzzo già in fase di presa, non è possibile ottenere un adeguato incorporamento dei due materiali per cui si ha la tendenza al formarsi di due strati diversi e sovrapposti che tendono facilmente a distaccarsi dando vita ad una delaminazione o "scartellamento" del solo spolvero. Se, invece, l'applicazione dello spolvero viene eseguita **prematuramente**, ossia, su un calcestruzzo troppo fresco, l'acqua di *bleeding*, che ancora seguita a risalire dal basso, viene bloccata dallo

**C.T.C.**  
**Concrete Technologies Consultants S.r.l.**

---

Uffici: Via Paolo Veronese 5 – 31100 Treviso Tel. & fax 0422/579137-email [ctcsnc@usa.net](mailto:ctcsnc@usa.net) - C.F./P.I. 02369790262  
pec – [ctc.snc@pec.it](mailto:ctc.snc@pec.it) - Capitale Sociale i.v. € 15.000,00

strato di malta superficiale in cui è stato incorporato lo spolvero indurente che, grazie alla sua impermeabilità, impedisce all'acqua di *bleeding* di fuoriuscire. Sotto tale strato di malta e spolvero indurente si possono formare delle zone piatte lenticolari di acqua che, nel tempo, viene riassorbita dal calcestruzzo circostante con formazioni di zone estese di vuoti; a seguito anche di sollecitazioni veicolari tale strato superficiale potrebbe cedere per la presenza del vuoto sottostante e distaccarsi dando vita a delaminazioni profonde (che coinvolgono, cioè, anche uno strato superficiale di calcestruzzo).

Si fa notare, però, che il fenomeno delle delaminazioni superficiali è più complesso e non può essere ricondotto, in tutti i casi, ad un problema di "timing" ossia di erronea tempistica di esecuzione.

In effetti, fenomeni di **delaminazione profonda** si sono manifestati per un certo periodo, con elevata frequenza soprattutto a partire dall'avvento degli additivi **superfluidificanti policarbossilici**: questi additivi richiedono la presenza di agenti anti-schiuma nella loro formulazione per evitare la formazione di aria indesiderata in forma di micro e macrobolle.

**Alcuni di questi additivi** – mal formulati per un difetto di agente anti-schiuma o per la loro separazione nel tempo durante lo stoccaggio nel serbatoio – **possono provocare la formazione di aria nel calcestruzzo**, la quale risalendo verso la superficie superiore, rimane intrappolata sotto lo strato corticale del calcestruzzo nel quale è stato incorporato lo spolvero, con conseguente formazione di delaminazioni profonde analoghe a quelle sopra descritte. L'esistenza di una precisa correlazione tra sviluppo di aria e alcuni fenomeni di delaminazione è stata dimostrata da indagini eseguite con **microscopia ottica** su sezioni verticali di carote estratte dai pavimenti interessati. Tali indagini hanno permesso di individuare una notevole % di aria generalmente oltre la soglia del 3%. Contemporaneamente all'aumentare della % di aria inglobata, proporzionalmente diminuisce la massa volumica

Tipico esempio di delaminazione per elevato inglobamento d'aria:

**C.T.C.**  
**Concrete Technologies Consultants S.r.l.**

Uffici: Via Paolo Veronese 5 – 31100 Treviso Tel. & fax 0422/579137-email [ctcsnc@usa.net](mailto:ctcsnc@usa.net) - C.F./P.I. 02369790262  
pec – [ctc.snc@pec.it](mailto:ctc.snc@pec.it) - Capitale Sociale i.v. € 15.000,00



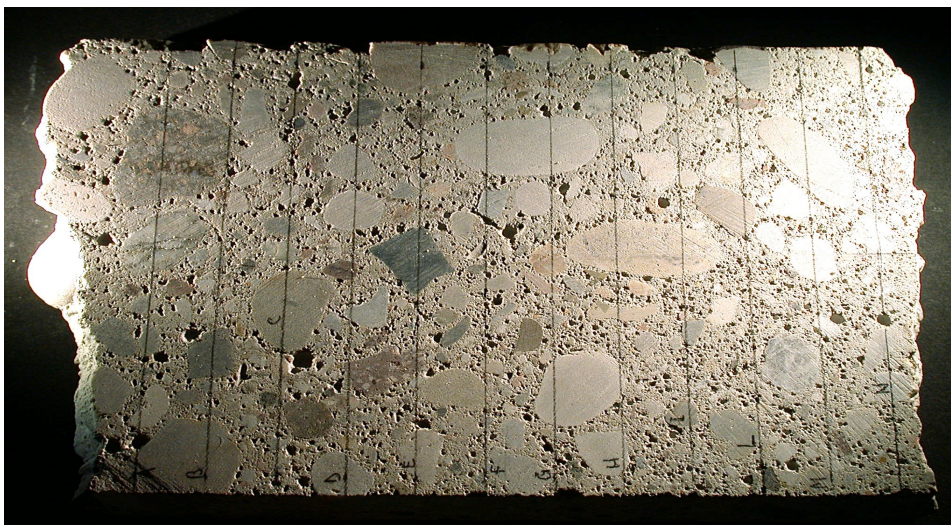
**Foto 4.** massa volumica della carota saturata:  
2183 kg/m<sup>3</sup> per evidente inglobamento d'aria



**Foto 5.** Fibre di polipropilene

**N.B.** Un eccessivo sviluppo di aria nel cls può essere causato anche dalla presenza di tensioattivi disperdenti con cui sono trattate le microfibre di polipropilene incompatili con alcuni additivi superfluificanti

**Determinazione delle caratteristiche dei vuoti di aria nel calcestruzzo indurito secondo UNI EN 480-11:2006 [ microscopia ottica]**



**Foto 5.** Contenuto aria totale: 19,61% ; massa volumica 2183 kg/m<sup>3</sup>



**C.T.C.**  
**Concrete Technologies Consultants S.r.l.**

Uffici: Via Paolo Veronese 5 – 31100 Treviso Tel. & fax 0422/579137-email [ctcsnc@usa.net](mailto:ctcsnc@usa.net) - C.F./P.I. 02369790262  
pec – [ctc.snc@pec.it](mailto:ctc.snc@pec.it) - Capitale Sociale i.v. € 15.000,00

**Determinazione delle caratteristiche dei vuoti di aria**

Parametro	Unità di Misura	Valore	Metodo di prova
Contenuto totale di aria A	% in volume	<b>19,61</b>	UNI EN 480-11
Diametro massimo	mm	3,55	UNI EN 480-11
Diametro minimo	mm	0,016	UNI EN 480-11
Diametro medio	mm	<b>0,191</b>	UNI EN 480-11



**Foto 6.** Carote provenienti dal padiglione di polo fieristico- Massa volumica satura media: 2.189,5 kg/m<sup>3</sup>- Resistenze medie in opera: 17,0 MPa

Da quanto sopra consegue che un calcestruzzo da impiegare per la realizzazione di pavimentazioni industriali deve essere caratterizzato da un basso contenuto di aria. Secondo alcune indicazioni fornite da esperienze maturate negli Stati Uniti e confermate in Italia, tale contenuto non deve superare il 3%.

Questo pone qualche problema nella realizzazione di piazzali esterni in zone soggette a cicli di gelo-disgelo dove, come è noto, le esigenze di durabilità del calcestruzzo imporrebbero l'impiego di conglomerati con un contenuto di aria inglobata superiore al 3% (classi di esposizione XF3 e XF4 secondo la UNI 11146).

In effetti, ancorché sia ampiamente dimostrato che la micro-aria appositamente prodotta in forma di bolle con diametro di circa 100 µm per garantire la durabilità del calcestruzzo sia tendenzialmente stabile e non tenda



# C.T.C. Concrete Technologies Consultants S.r.l.

Uffici: Via Paolo Veronese 5 – 31100 Treviso Tel. & fax 0422/579137-email [ctcsnc@usa.net](mailto:ctcsnc@usa.net) - C.F./P.I. 02369790262  
pec – [ctc.snc@pec.it](mailto:ctc.snc@pec.it) - Capitale Sociale i.v. € 15.000,00

a risalire verso l'alto, si sono avuti casi nei quali la lavorazione superficiale prodotta dalle frattazzatrici abbia richiamato verso l'alto parte dell'aria inglobata ai fini della durabilità favorendo l'aggregamento delle micro-bolle in bolle di maggiori dimensioni con conseguenze formazione di delaminazioni.

Per questo motivo il **Report dell'ACI 302.1R** "Guide for Concrete Floor and Slab Construction" sconsiglia di utilizzare calcestruzzi con aria inglobata nei pavimenti che richiedano una finitura con frattazzatura meccanica. La stessa raccomandazione viene ripetuta nel testo "**Concrete Floors on Ground**" della Portland Cement Association

### 3. Fessure dagli spiccati in elevazione

Da tutti gli spiccati in elevazione quali spigoli di muri, pilastri, basamenti ( come pure dagli angoli dei chiusini), si manifestano tensioni da trazione superiori a quelle intrinseche del calcestruzzo. Solitamente dagli spigoli parte una fessura a 45° che può propagarsi per alcuni metri fino all' intersecazione del giunto di contrazione più prossimo.



**Foto 8.** Fessure da spigoli di pilastro per insufficiente isolamento perimetrale e mancato inserimento di barre a 45° negli spigoli

Per prevenire tale vizio, in fase esecutiva devono essere posizionate a 45 ° dagli spigoli, almeno n°3 barre di lunghezza 60-80 cm,  $\Phi$  14, sollevate all'altezza dell'asse neutro della pavimentazione. L'isolamento del pilastro o del setto deve essere effettuato **raddoppiando** la fettuccina da 5 mm.



**Foto 9.** Esempio di prevenzione di fessure dagli spigoli di pilastri

#### **4. Fessure all'interno dei riquadri**

Sono generalmente da ritiro igrometrico. Quelle da ritiro plastico e da gradiente termico negativo si formano infatti ben prima del taglio dei giunti di contrazione.

Le fessure da ritiro igrometrico si manifestano in riquadri di dimensioni troppo elevate o con coefficienti di rettangolarità maggiori di 1:1,2

Il dimensionamento dei tagli dei giunti di contrazione è calcolabile mediante la "regola svedese":

$$\mathbf{18 \times h + 100} \text{ ( tutto in cm)}$$

dove 18 e 100 sono costanti ed h lo spessore della pavimentazione.

Pertanto per una pavimentazione di spessore 15 cm i lati dei riquadri dovranno così risultare:

$$18 \times 15 \text{ cm} + 100 = \mathbf{370 \text{ cm}}$$

Uffici: Via Paolo Veronese 5 – 31100 Treviso Tel. & fax 0422/579137-email [ctcsnc@usa.net](mailto:ctcsnc@usa.net) - C.F./P.I. 02369790262  
pec – [ctc.snc@pec.it](mailto:ctc.snc@pec.it) - Capitale Sociale i.v. € 15.000,00

I lati possono pertanto essere realizzati sia di **3,5 m x 3,5 m** o massimo **4,0 x 4,0 m**.

Nel caso che non si possano realizzare riquadri “ quadrati” con lati eguali, il lato adiacente al lato di 3,5 può diventare **massimo di 4,20 m**, ma non più.

Caso emblematico di pavimento di 10 cm poggiate su pavimento esistente di 25 cm di spessore, i giunti di contrazione sono stati tagliati con una griglia di 6 x 6 m, rispettando i giunti esistenti nel vecchio pavimento. In ogni riquadro si sono formate e fessure a croce a formare 4 riquadri di circa 3 m di lato.



**Foto 10.** Fessure da ritiro igrometrico per errato dimensionamento dei tagli di contrazione ( 6 m x 6 m con spessore 10 cm)

## **5. Sbrecciatura dei bordi dei giunti**

L'imbarcamento ( curling) in corrispondenza dei giunti di costruzione, come pure l'allargamento degli stessi provocato dal ritiro, comporta un impatto causato dal passaggio di carrelli tanto maggiore quanto è minore è il diametro delle ruote e maggiore la durezza delle stesse. ( ruote in vulkollan). I giunti vengono facilmente sbrecciati tanto maggiore è l'imbarcamento e l'allargamento dovuto al ritiro igrometrico.





**Foto 11.** Frantumazione del giunto di costruzione causato dall'impatto delle ruote dei carrelli



**Foto 12.** Fratture circolari causate dall'imbarcamento degli angoli dei quadrotti

A causa del ritiro igrometrico, spesso, le lastre si imbarcano in corrispondenza degli angoli dei quadrotti. Il continuo passaggio dei carichi porta alla frattura delle lastre

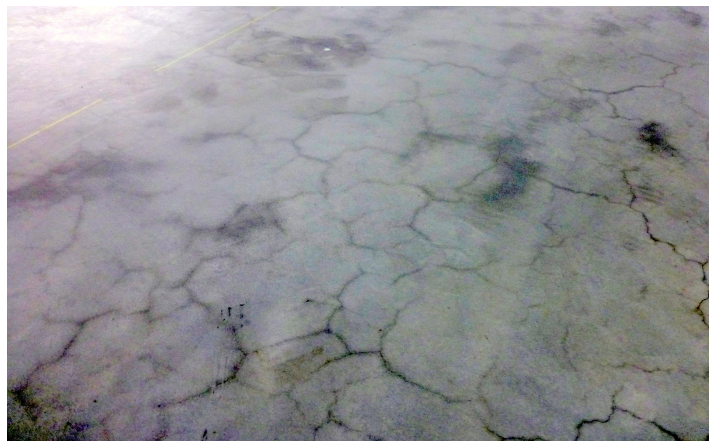
## **6. Microcavillature a ragnatela o " a carta geografica"**

Le strutture a base cementizia e quindi anche le pavimentazioni, presentano spesso microcavillature a ragnatela più o meno evidenti. La morfologia è maggiormente evidente su superficie bagnata, levigata, o impregnata, esposta



Uffici: Via Paolo Veronese 5 – 31100 Treviso Tel. & fax 0422/579137-email [ctcsnc@usa.net](mailto:ctcsnc@usa.net) - C.F./P.I. 02369790262  
pec – [ctc.snc@pec.it](mailto:ctc.snc@pec.it) - Capitale Sociale i.v. € 15.000,00

alle correnti d'aria e alla ventilazione forzata di aria calda. Le microcavillature a ragnatela ,in genere, non pregiudicano nel tempo la durabilità del pavimento.



**Foto 13.** Cavillature a ragnatela per ventilazione

Le cause possono essere almeno 2 :

- essiccazione rapida per bassa igrometria e ventilazione ( già visibili all'indomani del getto)
- totale assenza di stagionatura umida ( visibili dopo pochi giorni)
- carbonatazione ( visibili dopo un processo che può impiegare mesi/anni)

### **6.1. Il meccanismo di carbonatazione**

E' legato alla graduale penetrazione nel tempo, attraverso la porosità della pasta cementizia, dell'anidride carbonica dell'atmosfera (  $CO_2$ ,gas). La reazione che caratterizza questo fenomeno porta alla formazione di carbonato di calcio nel calcestruzzo che neutralizza la calce presente in esso ed abbassa il pH da valori di 12,5 fino a 9.

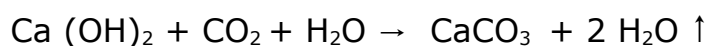
La reazione di carbonatazione inizia sulla superficie esterna del calcestruzzo e con velocità decrescente penetra all'interno secondo una legge  $\sqrt{K \cdot t}$ , dove K è una costante intrinseca del calcestruzzo e t è il tempo. In realtà il valore K non è costante e cambia nel tempo in funzione:

3. del tenore di umidità relativa
4. delle caratteristiche del calcestruzzo diverse da zona a zona
5. dagli strati esterni rispetto a quelli interni

La velocità di penetrazione K risulta quindi molto elevata in assenza di bagnamenti intermittenti della superficie del cls, come la pioggia. Questo spiega perchè nelle zone protette dalla pioggia la velocità di penetrazione della carbonatazione è molto più elevata che non sulle superfici dove l'acqua ristagna. Pertanto la velocità di carbonatazione all'interno di un edificio risulta nettamente superiore rispetto all'esterno. ( *capannoni industriali*) La reazione è particolarmente accentuata per i cementi Portland ( tipo I e II, EN 197/1) e meno sentita per i pozzolanici (tipo IV) e d'altoforno (tipo III) o per i calcestruzzi additivati con ceneri volanti, in quanto la calce d'idratazione [ CaOH<sub>2</sub> ] viene consumata/impegnata chicamente nella reazione pozzolanica.

### **6.1.2. Il processo chimico**

Il ritiro da carbonatazione avviene durante la trasformazione della calce libera -idrossido di calcio [ Ca (OH)<sub>2</sub> ], presente nel cls, in carbonato di calcio [ CaCO<sub>3</sub> ] secondo la reazione:



La reazione si manifesta con una perdita di molecole d'acqua che provocano un ritiro corticale.

La sua entità dipende dall'umidità dell'ambiente e dal grado di saturazione della pasta cementizia. **Il fenomeno può provocare diffuse cavillature a ragnatela che si manifestano come "fine reticolo" sulla superficie delle pavimentazioni cementizie.**

Spesso tali cavillature non sono facilmente visivamente riscontrabili quando la superficie della pavimentazione è asciutta. Durante le fasi di lavaggio, anche con bagnasciuga, o per casuale spargimento d'acqua, quando la superficie tende ad asciugare, tali cavillature risultano invece ben visibili.



**Foto 14.** Evidenziazione delle cavillature dopo il passaggio della lavasciuga ( 6 mesi dal getto)

Tale visibilità viene accentuata qualora la superficie della pavimentazione venga trattata con antipolvere trasparenti, ad es., acrilici a base solvente o epossidici a base acqua.

Il meccanismo più accreditato per spiegare le trasformazioni delle proprietà fisico-meccaniche ipotizza che l'idrossido di calcio neutralizzato dalla  $CO_2$  venga trasformato in carbonato di calcio con perdita di molecole d'acqua, determinando una contrazione della pasta cementizia capace di microfessurare la superficie dell'ambiente calcestruzzo.

### **6.1.3. Principali parametri che influenzano il fenomeno**

#### **6.1.3.1. Umidità relativa**

La cinetica del processo di carbonatazione varia con l'umidità del calcestruzzo (che è generalmente il parametro più importante che influenza la carbonatazione), per due motivi.

Anzitutto il trasporto dell'anidride carbonica all'interno del conglomerato ha luogo facilmente attraverso i **pori riempiti d'aria** mentre avviene molto più lentamente in quelli riempiti d'acqua.

Di conseguenza la velocità di diffusione della CO<sub>2</sub> diminuisce al crescere dell'umidità relativa, più marcatamente al di sopra dell'80%, fino praticamente ad annullarsi in calcestruzzo saturo, pertanto quando il conglomerato è bagnato, la penetrazione dell'anidride carbonica cessa.

D'altra parte la reazione di carbonatazione si produce soltanto in presenza di acqua per cui, di fatto per valori di umidità inferiori al 40% non avviene con velocità apprezzabili.

Per questi due motivi **l'intervallo di umidità relativa** entro il quale è maggiore la velocità di carbonatazione è compreso tra **il 50 e 80%**.

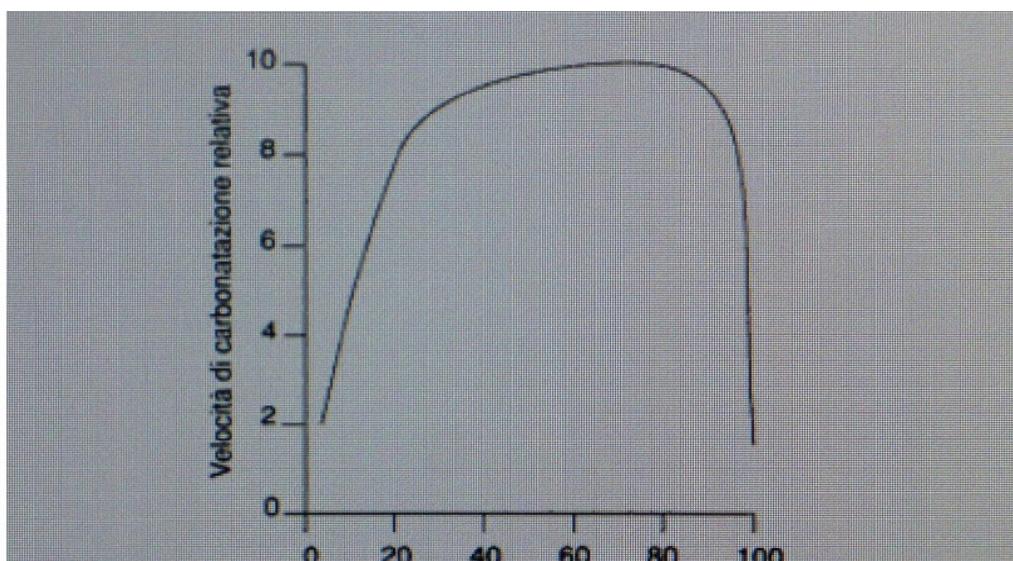


Fig. 3 Andamento della velocità di carbonatazione al variare dell'umidità relativa

### 6.1.3.2. Tenore di anidride carbonica

Al crescere della concentrazione di CO<sub>2</sub>, la velocità di penetrazione del fronte carbonatato cresce.

### 6.1.3.3. Temperatura

Gli aumenti di temperatura, a parità di altre condizioni e in particolare del **tenore di umidità**, fanno crescere la velocità di penetrazione.



#### **6.1.3.4. Alcalinità del calcestruzzo**

La capacità di un calcestruzzo di fissare la CO<sub>2</sub> è proporzionale all'alcalinità presente nella sua pasta cementizia e quindi dipende linearmente dalla quantità di cemento utilizzato (*negli spolveri indurenti utilizzati nelle pavimentazioni industriali la % di cemento è elevata e generalmente compresa tra il 35% ed il 40%, **ovvero circa 750 kg/m<sup>3</sup> – Importante determinare il tipo di cemento utilizzato per la miscela dello spolvero indurente***)

L'alcalinità dipende poi anche dal tipo di cemento, ad esempio nel Portland circa il 64% del peso di cemento è costituito da CaO- ossidi di calcio ( sotto forma di silicato tricalcico e silicato bicalcico) mentre nei cementi d'altoforno (con il 70% di scoria) la percentuale di CaO scende al 44%.

#### **6.2. Microcavillature nelle pavimentazioni industriali : vizio estetico**

**Le cavillature** e/o microfessure sono una caratteristica frequente in una pavimentazione industriale in calcestruzzo rifinita con spolvero cementizio in quanto possono dipendere dalle naturali operazioni di finitura e dalle condizioni termo-igrometriche presenti al momento delle lavorazioni e nei primi periodi di indurimento. Possono essere contenute eliminando l'azione diretta del sole e le correnti d'aria. Una corretta stagionatura diminuisce tale fenomeno

**Normalmente** sono estremamente piccole, tanto da essere spesso individuate solo dopo una preventiva leggera bagnatura della pavimentazione

Le cavillature e/o microfessure a ragnatela non possono essere considerate un difetto, soprattutto se interessano alcune parti limitate della superficie, salvo che tale fenomeno sia accompagnato da distacchi parziali dello strato di finitura. Se tali possibili microcavillature non risultano accettabili per l'uso previsto si dovrà prevedere un trattamento superficiale di riporto ad esempio una verniciatura, ecc.)

Uffici: Via Paolo Veronese 5 – 31100 Treviso Tel. & fax 0422/579137-email [ctcsnc@usa.net](mailto:ctcsnc@usa.net) - C.F./P.I. 02369790262  
pec – [ctc.snc@pec.it](mailto:ctc.snc@pec.it) - Capitale Sociale i.v. € 15.000,00

Le microcavillature non inficiano assolutamente i requisiti della vita utile di progetto, come confermato anche dal Codice di Buona Pratica CONPAVIPER che al paragrafo 16.1.4 qui di seguito riportato:

#### **16.1.4 Microcavillature a ragnatela**

Tutte le strutture a base cementizia e quindi anche le pavimentazioni, presentano microcavillature a ragnatela. La patologia è maggiormente evidente su superficie bagnata, levigata, o impregnata, esposta alle correnti d'aria e alla ventilazione forzata di aria calda. Le microcavillature a ragnatela non pregiudicano nel tempo la durabilità del pavimento.

#### **7. Pop-out ( chimico per reazione alcali/aggregati)**

Il termine "pop-out" sta ad indicare la formazione di **violature/crateri superficiali** dovute all'espulsione di piccoli coni di diametro variabile, costituiti dallo strato indurente e da porzioni di calcestruzzo più o meno profonde contenenti l'aggregato alcali-reattivo, di dimensioni variabili così classificate dall'**ACI MANUAL OF CONCRETE PRACTICE, cap.201-IR-8:**

- pop-out piccolo, con fori fino a 10 mm
- pop-out medio, con fori compresi da 10 a 50 mm
- pop-out grande, con fori maggiori di 50 mm



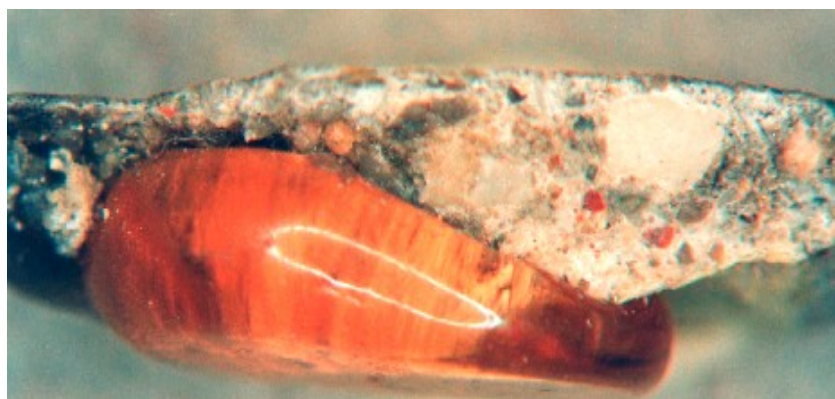
**Foto 15.** Pop-out di media dimensione

Tale fenomeno è causato dalla reattività di minerali, presenti negli aggregati utilizzati per la produzione di calcestruzzo, con gli alcali del cemento. Questi minerali sono spesso difficilmente individuabili in tempo utile, anche con sofisticate prove di laboratorio.

Buona parte delle regioni italiane affacciate sul mare adriatico ( ma anche altre regioni in misura minore) hanno aggregati utilizzati per la produzione del calcestruzzo con elevata presenza di minerali reattivi con gli alcali del cemento quali il diaspro, l'opale, il calcedonio, la tridimite, la cristobalite, il quarzo criptocristallino ad estinzione ondulata, calcari arenaci ( calcareniti e biocalcareniti) calcari silicizzati, accompagnati da gusci fossili calcitici parzialmente o totalmente silicizzati.

La reazione inizia con l'attacco dei minerali silicei da parte degli idrossidi di sodio e potassio ( NaOH e KOH) formati nell'acqua per reazione con gli alcali contenuti nel cemento (Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O).

Come risultato si formano silicati alcalini **sotto forma di gel (vedi foto)**, con conseguente alterazione dei bordi delle particelle di aggregati. Il gel è del tipo a "rigonfiamento illimitato", si imbeve cioè di acqua aumentando il proprio volume.



**Foto 16.** Goccia di gel espansivo costituita da silicati alcalini causa del pop-out. Il colore ambrato in breve diventa biancastro e la struttura polverulenta

Per il manifestarsi del pop-out per reazione alcali/aggregati è necessario il verificarsi concomitante di tre condizioni:

- presenza di silice reattiva negli aggregati;

---

Uffici: Via Paolo Veronese 5 – 31100 Treviso Tel. & fax 0422/579137-email [ctcsnc@usa.net](mailto:ctcsnc@usa.net) - C.F./P.I. 02369790262  
pec – [ctc.snc@pec.it](mailto:ctc.snc@pec.it) - Capitale Sociale i.v. € 15.000,00

- tenore di alcali nel calcestruzzo,
- elevate condizioni di esposizione e di esercizio tali da mantenere **prevalentemente saturo d'acqua il calcestruzzo** o consentirne frequentemente la saturazione.

In mancanza anche di una sola delle condizioni predette la reazione alcali/aggregati non si manifesta.

Molto spesso, fintantoché la pavimentazione rimane priva di verniciature, applicate generalmente con **funzione antipolvere- antiolio**, non vi è comparsa di pop-out. Dopo la fase di preparazione al trattamento in resina, in cui quasi sempre è coinvolto il lavaggio del pavimento mediante lava-asciuga con semplice acqua e detersivi, ma anche con acidi tamponati, immediatamente dopo pochi giorni si può sviluppare un fenomeno di popout, chiaramente laddove nel calcestruzzo o nello spolvero indurente siano presenti minerali definibili "potenzialmente reattivi"

### **POPOUT FISICO DA INSTABILITA' DIMENSIONALE DEGLI INERTI**

Le cause fisiche che possono procurare variazioni temporanee o permanenti del volume di un inerte sono essenzialmente i cicli di gelo e disgelo, le variazioni termiche a temperature superiori al punto di congelamento dell'acqua e i cicli umido-asciutto. Un aggregato è dimensionalmente instabile quando le variazioni di volume indotte dalle cause suesposte provochino un deterioramento del calcestruzzo, spesso limitato alla scagliatura, alla screpolatura superficiale o ad rigonfiamento che si manifesta come una bolla. Particolarmente instabili sono le selci porose, alcuni scisti, 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.

**Per non far sviluppare il vizio** sarebbe stato sufficiente applicare dei presidi tali da non rendere la lastra di calcestruzzo prevalentemente satura:



---

Uffici: Via Paolo Veronese 5 – 31100 Treviso Tel. & fax 0422/579137-email [ctcsnc@usa.net](mailto:ctcsnc@usa.net) - C.F./P.I. 02369790262  
pec – [ctc.snc@pec.it](mailto:ctc.snc@pec.it) - Capitale Sociale i.v. € 15.000,00

6. posizionare nella parte superiore della massicciata di sottofondo uno strato di materiale arido di cava privo di frazioni limo argillose, capace di interrompere la risalita di umidità capillare dalla fondazione, oppure o anche:
7. interporre una barriera al vapore con risvolti verticali lungo il perimetro della pavimentazione per impedire possibili infiltrazioni di acqua anche lateralmente, oppure o anche:
8. applicare, in mancanza dei requisiti succitati, trattamenti anti-polvere traspiranti, meglio se a base di silicati reagenti con gli alcali e l'idrossido di calcio presente nel calcestruzzo e NON applicare trattamenti FILMANTI capaci di impedire la traspirazione della pavimentazione

## **8. Gelo-disgelo e sali disgelanti**

Il calcestruzzo è un materiale poroso e quindi soggetto a degradazione se sottoposto a cicli di gelo e disgelo. La maggior parte dei **pori capillari** ( che influenzano la gelività) del calcestruzzo sono **localizzati nella pasta cementizia che avvolge gli inerti**. Questi pori hanno dimensioni di alcuni micron e solo l'acqua contenuta in essi può solidificare nel passaggio da acqua a ghiaccio, causandone la degradazione.

La condizione a seguito della quale effettivamente il gelo riesce a degradare le superfici delle pavimentazioni cementizie esterne dipende dall'effettivo **grado di saturazione dei pori capillari nell'ambito dell'estradosso ovvero nella parte corticale**. Se il grado di saturazione supera la **"saturazione critica" del 91,7 %**, le alternanze di gelo e disgelo di un solo inverno possono evidenziare fenomeni di scagliatura superficiali con distacco dell'indurente superficiale e generalmente anche di una parte di malta di collegamento con la struttura del conglomerato.

La via d'accesso per la "saturazione critica" dell'estradosso è pertanto duplice: attraverso la corazzatura se non correttamente realizzata ( o per la presenza di fessure, o fratture o inadeguata sigillatura dei giunti di contrazione, per

Uffici: Via Paolo Veronese 5 – 31100 Treviso Tel. & fax 0422/579137-email [ctcsnc@usa.net](mailto:ctcsnc@usa.net) - C.F./P.I. 02369790262  
pec – [ctc.snc@pec.it](mailto:ctc.snc@pec.it) - Capitale Sociale i.v. € 15.000,00

mancate pendenze drenanti, per concavità risultanti da una planarità non conforme) o per risalita di umidità capillare attraverso la fondazione e la massicciata di sottofondo, per mancanza di barriera al vapore.

I sali usati sono normalmente il **cloruro di sodio (NaCl)** ed il **cloruro di calcio (CaCl<sub>2</sub>)**.

### **EFFETTO DEI SALI DI DISGELAMENTO**

**Il cloruro di sodio** provoca un degrado del calcestruzzo qualora siano presenti aggregati reattivi agli alcali producendo *silicato sodico idrato* (espansivo) e la corrosione dei ferri d'armatura soprattutto nelle strutture precomprese ( pitting)

Facilita inoltre l'azione disgregante del gelo in quanto, qualora sparso sulla superficie di una struttura cementizia, la soluzione salina **provoca differenze di pressione osmotica che fanno risalire l'acqua capillare verso la superficie, dove avviene il congelamento**. Poiché i maggiori danni si verificano per concentrazioni saline più basse ( da 2% a 4%), due famosi studiosi, Verberck e Klieger, hanno ritenuto che l'attacco sia di natura fisica piuttosto che chimica.

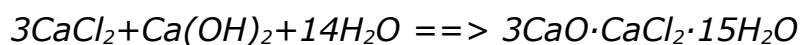
E' risultato evidente che i danni più intensi si verificano quando il calcestruzzo è soggetto a gelo e disgelo e la soluzione salina rimane permanente sulla sua superficie piuttosto che venire rimossa e sostituita con soluzione fresca priva di sali prima di ogni congelamento. Se il liquido venisse rimosso dalla superficie prima di ricongelare, il rischio di danno verrebbe sensibilmente ridotto.

Famosi studiosi sono arrivati alla conclusione che gli **agenti disgelanti causano un più elevato grado di saturazione nel calcestruzzo** e ciò è il maggior responsabile per gli effetti di disgregazione.(da ACI Manual of Concrete Practice; capitolo 201- 1.3 **Ice removal agents**)

Il **cloruro di calcio (CaCl<sub>2</sub>)**, che presenta una migliore azione disgelante rispetto al cloro di sodio a temperature inferiori a 7-8°C, agisce sulla pasta di cemento, e più specificatamente sull'idrossido di calcio Ca(OH)<sub>2</sub>, in essa

Uffici: Via Paolo Veronese 5 – 31100 Treviso Tel. & fax 0422/579137-email [ctcsnc@usa.net](mailto:ctcsnc@usa.net) - C.F./P.I. 02369790262  
pec – [ctc.snc@pec.it](mailto:ctc.snc@pec.it) - Capitale Sociale i.v. € 15.000,00

contenuto, producendo, in presenza di acqua, ossicloruro di calcio idrato ( $3\text{CaO}\cdot\text{CaCl}_2\cdot 15\text{H}_2\text{O}$ ) che si forma con azione fortemente dirompente:



La formazione di ossicloruro di calcio comporta, a causa del rigonfiamento, lo scollamento della pasta cementizia dagli aggregati a causa dell'elevato rigonfiamento. Il processo risulta accelerato alla temperatura di 4-5°C.

Per confezionare pavimentazioni in calcestruzzo durevoli nei confronti dell'azione deleteria del  $\text{CaCl}_2$ , occorre adottare di un rapporto *a/c* sufficientemente basso (<0,45 secondo la UNI EN 206) da rendere il calcestruzzo del copriferro meno poroso possibile e rallentare, di conseguenza, il processo di diffusione del cloruro verso i ferri di armatura. Inoltre, è opportuno che il contenuto di calce libera (  $\text{CaOH}_2$  ) risulti il più basso possibile, per impedire la formazione dell'ossicloruro di calcio.

Molto utile pertanto l'utilizzo di cenere volante al dosaggio massimo consentito per impegnare la maggiore quantità possibile di calce libera per tramutarla in silicati di calcio insolubili ed inattacabili dal cloruro di calcio.

La formazione di ulteriori silicati di calcio contribuisce a diminuire la permeabilità della pasta cementizia, migliorando ancor più il coefficiente di permeabilità già ottimale per un rapporto acqua/cemento 0,45 pari a  $1\cdot 10^{-11}$  cm/sec



**Foto 17.** Effetto dei sali disgelanti in area di attesa autobus

La prevenzione contro le alternanze di gelo e disgelo e lo spargimento dei sali disgelanti nelle pavimentazioni industriali esterne comporta le seguenti precauzioni:

**a. Scelta del tipo di calcestruzzo:**

In conformità ai parametri di durabilità determinate dalla **classe di esposizione applicabile XF4** delle UNI 11104:2004 ( Superfici orizzontali quali strade o pavimentazioni esposte al gelo ed ai sali disgelanti in modo diretto o indiretto, elementi esposti al gelo e soggetti a frequenti bagnature in presenza di agenti disgelanti o di acqua di mare.):

- rapporto a/c:  $\leq 0,45$
- dosaggio di cemento:  $\geq 360$  kg/mc
- aria totale inclusa aria inglobata:  $\approx 5\%$  ( 4- 6%)
- Rck ( con inglobamento d'aria)  $\geq 35$  MPa

b. Finitura superficiale **"sagginata"** senza spolvero indurente

c. Protezione corticale con impregnazione mediante silicati

**9. Efflorescenze**

Le efflorescenze si manifestano in presenza di **risalita di umidità capillare** per mancanza di barriera vapore. Le efflorescenze sono costituite da affioramento di idrossido di calcio  $[Ca(OH)_2]$  o calce libera presente in tutti i calcestruzzi, sostanza veicolata in superficie dalla risalita dell'umidità capillare. Spesso le efflorescenze si formano con distribuzione casuale sulle pavimentazioni coperte da teli di polietilene mal stesi, con funzione anti-evaporante -stagionante. Laddove il telo è sollevato e non aderente alla superficie, si forma una piccola camera satura di vapore acqueo. All'abbassarsi della temperatura, durante la notte, il vapore condensa facendo precipitare delle goccioline che, bagnando la porzione di superficie sottostante, provocano la risalita di idrossido di calcio in superficie dal colore gessoso.

Le efflorescenze vanno eliminate velocemente con idrolavaggio, in modo da prevenire la formazione di calcare per reazione dell'idrossido di calcio con l'anidride carbonica dell'atmosfera. Quando l'efflorescenza è divenuta



Uffici: Via Paolo Veronese 5 – 31100 Treviso Tel. & fax 0422/579137-email [ctcsnc@usa.net](mailto:ctcsnc@usa.net) - C.F./P.I. 02369790262  
pec – [ctc.snc@pec.it](mailto:ctc.snc@pec.it) - Capitale Sociale i.v. € 15.000,00

“calcarea”, la rimozione non può avvenire che con soluzioni acide con acido muriatico al 10.

Le efflorescenze non pregiudicano la funzionalità della pavimentazione, ma costituiscono un difetto estetico non accettabile per ambienti di pregio, come ad es, show room.



**Foto 18.** Risalita di idrossido di calcio per capillarità (assenza di barriera al vapore )

## 10. Finitura

Il grado di finitura di un pavimento di calcestruzzo viene definito del tipo industriale “a frattazzo meccanico” ( elicottero). Lungo i muri, basamenti, pilastri ed altri spiccati in elevazione e zone non raggiungibili da tale attrezzatura, la finitura sarà del tipo manuale, e quindi diversa per gradazione cromatica e di diversa tessitura superficiale

## 11. Differenze cromatiche

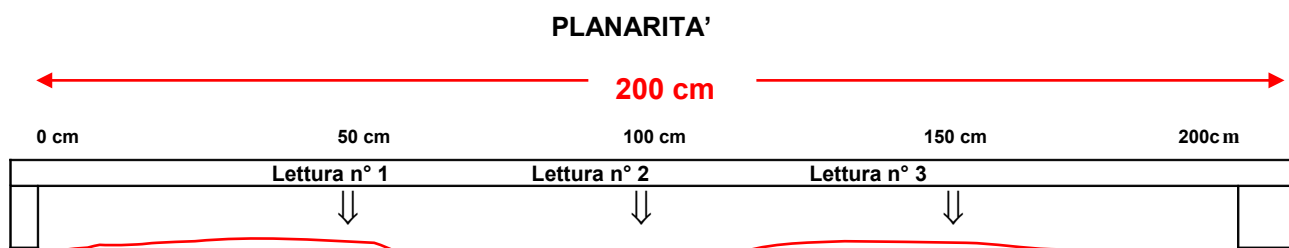
Il calcestruzzo non è un materiale omogeneo in quanto composto da solidi di diversa natura, acqua, additivi ed aggiunte. La differenza cromatica è concessa in quanto dipende da una serie imprevedibile di cause: dai granuli di cemento una volta idratati, dai tempi di presa, al numero di passaggi di frattazzatrice, dalla segregazione degli aggregati all'affioramento dell'acqua in eccesso ( essudamento o bleeding), dalla situazione climatica al grado di umidità della superficie, dalla stagionatura.

## 12. Planarità (metodi di misura)

La planarità è lo stato di una superficie piana che non presenta irregolarità, sia convesse che concave. La planarità è indipendente dalla pendenza e dall'orizzontalità. Il grado di planarità di una pavimentazione deve essere definito contrattualmente, anche ai fini della scelta del metodo costruttivo. La tolleranza "standard" di planarità per i pavimenti industriali di calcestruzzo è di:

**± 5 mm su 2 metri**

misura effettuata con un regolo rigido di due metri munito di piedini di 20 mm di altezza. La misura di precisione viene realizzata con un calibro digitale mediante 3 letture successive a 50 cm, a 100 cm e a 150 cm.



Misura della planarità con stadia da 200 cm, munita di piedini h 5 mm, + calibro digitale

La tolleranza per le pavimentazioni definite "super flat" è di **± 3 mm su 2 metri**



**Foto 19.** Rilevamento dei valori di planarità

Uffici: Via Paolo Veronese 5 – 31100 Treviso Tel. & fax 0422/579137-email [ctcsnc@usa.net](mailto:ctcsnc@usa.net) - C.F./P.I. 02369790262  
pec – [ctc.snc@pec.it](mailto:ctc.snc@pec.it) - Capitale Sociale i.v. € 15.000,00

**Allo scopo di verificare la corretta esecuzione del pavimento** industriale, le tolleranze richieste, secondo il Codice di Buona Pratica CONPAVIPER, devono essere verificate entro e non oltre le 72 ore successive al getto e lontano almeno 50 cm dai pozzetti, dagli spiccati in elevazione e dai giunti di costruzione, per escludere l'influenza del fenomeno di imbarcamento (curling) tipico dei pavimenti di calcestruzzo

### 13. Orizzontalità

Un pavimento industriale di calcestruzzo viene normalmente raccordato agli elementi circostanti già posizionati in quota e livello stabiliti (soglie, chiusini, basamenti, piani di scarico ecc.) che costituiscono i punti di raccordo e quindi in tali casi l'orizzontalità non necessariamente risulta requisito applicabile. I riferimenti dei piani quotati su pilastri o muri, devono essere marcati con tratti precisi a cura del Committente.

In assenza di punti di raccordo, ad esempio platee, basamenti ecc., si deve stabilire la quota di riferimento rispetto al caposaldo. Le tolleranze riferite alla quota di riferimento devono essere le seguenti:

Distanza tra i punti di controllo	Tolleranza
≤ 10 metri	± 15 mm
≤ 25 metri	± 20 mm
≤ 50 metri	± 25 mm
≤ 100 metri	± 35 mm

Il controllo dell'orizzontalità deve essere effettuato con strumenti la cui precisione risulti non inferiore al 10% della tolleranza concessa. Il controllo viene effettuato con un sistema di triangolazioni chiuse. Non sono ammesse letture a "ventaglio".

Ove richiesto o necessario il drenaggio delle acque, le pendenze devono risultare eguali o maggiori 1,5%

**C.T.C.**  
**Concrete Technologies Consultants S.r.l.**

---

Uffici: Via Paolo Veronese 5 – 31100 Treviso Tel. & fax 0422/579137-email [ctcsnc@usa.net](mailto:ctcsnc@usa.net) - C.F./P.I. 02369790262  
pec – [ctc.snc@pec.it](mailto:ctc.snc@pec.it) - Capitale Sociale i.v. € 15.000,00

## **14 .Appendice:**

### **ESEMPIO DI VALUTAZIONE DI PAVIMENTO FINITO:**

- Planarità media assoluta su 2 metri: X mm : standard richiesto:  $\pm 5,0$  mm / 2 metri
- Finitura superficiale: buona
- Dimensionamento quadrotti: come da capitolato
- Taglio dei giunti profondità cm: come da capitolato
- Riempimento dei giunti: come da capitolato
- Imbarcamenti dei giunti di costruzione: assenti alla data di rilevamento
- Delaminazioni: assenti
- Fessure/fratture: assenti
- Microcavillature: localizzate in 2 punti critici, di lieve entità e lunghezza contenuta dai tagli di contrazione
- Efflorescenze: assenti
- Differenze cromatiche: non significative

### **GIUDIZIO FINALE COMPLESSIVO**

Le verifiche effettuate evidenziano la completa conformità agli standard richiesti dal disciplinare tecnico.