

Calcestruzzo per pavimentazioni: Esigenze, Specificità e Tecnologie disponibili

Davide Orbolato, Agostino Cadorin, Sergio Belluco, Felice M. Liberatore | **GENERAL ADMIXTURES S.p.A.**

1. INTRODUZIONE

Nell'ambito del settore delle pavimentazioni in calcestruzzo vi sono aspetti tecnologici che, tutto sommato, non presentano particolari peculiarità rispetto agli altri ambiti edilizi:

- In generale la classe di resistenza a compressione risulta piuttosto contenuta e, salvo casi specifici e particolari, rimane compresa nel canonico range C25/30 – C35/45, in funzione, generalmente, della classe di esposizione ambientale;
- La classe di consistenza dipende esclusivamente dalla modalità con cui il materiale dovrà essere posto in opera. Ad esempio viene prescritta una classe di consistenza fluida (S4) o meglio superfluida (S5) nel caso in cui il materiale venga "steso" manualmente mediante staggiatura (Figura 1, a), piuttosto che consistenze molto meno fluide nel caso in cui vengano impiegate specifiche macchine (Figura 1, b);
- Il diametro massimo dell'aggregato, alla luce dei rilevati valori di copriferro ed interferro presenti in una pavimentazione, è pari generalmente pari al massimo disponibile presso l'impianto di confezionamento (tipicamente 32 mm);



Figura 1 – Consistenza del calcestruzzo in funzione della modalità di posa in opera

Vi sono invece altri aspetti che, negli altri ambiti costruttivi risultano generalmente poco attenzionati ma che nella realizzazione delle strutture in questione, risultano estremamente decisivi e, per certi versi, critici:

- a) Tempi di presa;
- b) Ritiro (plastico ed igrometrico);
- c) Resistenza all'usura superficiale;
- d) Impermeabilità superficiale;

Si tratta di aspetti strettamente legati sia alla tecnologia del calcestruzzo, ovvero alla sua composizione, che alla qualità della sua posa in opera.

2. ADDITIVI SUPERFLUIDIFICANTI PER PAVIMENTAZIONI

La modalità realizzativa delle pavimentazioni richiede l'esecuzione di fasi lavorative caratterizzate, ciascuna, da precise tempistiche, che sono indipendenti dalla stagione in cui la pavimentazione viene realizzata. D'altro canto, i tempi di lavorabilità del materiale ed i suoi tempi di presa sono fortemente dipendenti dalla temperatura, e quindi dalla stagione lavorativa. Questi due aspetti, se non conciliati, possono comportare serie conseguenze:

- Nella stagione fredda la cinetica della reazione di idratazione del cemento risulta rallentata e, conseguentemente, i tempi di presa e di indurimento del materiale si allungano. Questo aspetto, se non gestito, potrebbe impedire alle maestranze di completare le lavorazioni di finitura nell'arco della giornata lavorativa (materiale ancora "deformabile" a fine giornata);
- Nella stagione calda, viceversa, la cinetica di idratazione del cemento risulta accelerata, con la possibile conseguenza di non dare alle manovalanze il giusto tempo necessario per la corretta stesa e compattazione del materiale.

Il primo problema tecnologico che un calcestruzzo per pavimentazioni da affrontare è quindi quello di poter disporre di tempi di presa ed indurimento che siano "modulabili" ed adattabili alla specifica stagione.

Per rispondere a questa esigenza i Produttori di additivi per calcestruzzo devono "specializzare" le formulazioni degli additivi superfluidificanti dedicati al Settore, creando Linee di Prodotto ben distinte da quelle riservate ad altri settori applicativi. La linea **PRIMIUM FLOOR** di General Admixtures contempla, ad esempio, tutta una serie di additivi superfluidificanti per pavimentazione, dotati di Marcatura CE secondo UNI EN 934-2, che si adattano alle diverse temperature applicative ed a tutte le tipologie di cemento disponibili sul Mercato.

Essi consentono di progettare e realizzare calcestruzzi capaci di fornire prestazioni costanti indipendentemente dalla stagionalità. Quando si parla di "prestazioni" si intendono, in generale:

- Lavorabilità;
- Mantenimento della lavorabilità nel tempo necessario a trasportare il calcestruzzo dall'impianto di confezionamento in cantiere;
- Capacità di ridurre adeguatamente la richiesta di acqua in maniera da garantire lo specifico rapporto a/c necessario (per esigenze strutturali e di durabilità);

A titolo di esempio, gli additivi **PRIMIUM FLOOR 110** e **PRIMIUM FLOOR 290** si riferiscono a due formulazioni acriliche, concepite rispettivamente per climi invernali ed estivi.

Entrambe consentono di:

- Ridurre, in maniera modulare (funzione del dosaggio impiegato) l'acqua di impasto;
- Abbassare, conseguentemente, il rapporto a/c della miscela, con conseguenti benefici in termini di resistenze meccaniche, durabilità e (molto importante) di ritiro;
- Ottimizzare i contenuti di cemento, riducendo ulteriormente il ritiro igrometrico del calcestruzzo grazie all'incremento del rapporto aggregato/cemento;
- Migliorare la coesione degli impasti, favorendone uniformità e facilità di posa.

La differenza tra i due, per quanto detto, è che la prima tipologia di additivo (**PRIMIUM FLOOR 110**) persegue questi obiettivi velocizzando, nel contempo, la cinetica di reazione del cemento, in modo da accorciare i tempi di presa durante il clima freddo.

Il secondo (**PRIMIUM FLOOR 290**), al contrario, esplicherà le sue funzioni rallentando, nel contempo, l'idratazione del cemento, in modo da garantire alle maestranze il tempo necessario per il completamento di tutte le fasi operative.

L'impiego di additivi fluidificanti/riduttori di acqua di questo tipo rappresenta poi un primo contributo alla gestione di un aspetto che, per il calcestruzzo destinato alle pavimentazioni industriali, è sempre protagonista: il fenomeno della contrazione da ritiro, con particolare riferimento a quello igrometrico.

È noto infatti che la specifica geometria delle pavimentazioni da un lato esalta il fenomeno del ritiro (plastico ed igrometrico) a causa della elevata superficie esposta all'aria e dall'altro, il loro elevato grado di vincolo, dovuto ad un esteso e continuo contatto con il terreno, ne impedisce la libera contrazione. La sussistenza contemporanea di queste due condizioni crea i presupposti di quella che è la principale (e più temuta) criticità che si associa alla realizzazione delle pavimentazioni in calcestruzzo: la potenziale comparsa di cavillature/fessurazioni da ritiro plastico o da ritiro igrometrico impedito.

3. RITIRO DEL CALCESTRUZZO: SOLUZIONI TECNOLOGICHE PER LA SUA GESTIONE

3.1 Ritiro Plastico

Subito dopo la posa in opera del calcestruzzo, una eccessiva evaporazione di acqua dal materiale alimenta il fenomeno del **ritiro plastico** che, se non prevenuto, porta alla formazione di cavillature estese (Figura 2, a) che, oltre a penalizzare fortemente la durabilità della struttura, ne compromettono l'estetica.

Operativamente, l'ovvia soluzione che si può attuare per evitare il problema è quello di ridurre il tasso di evaporazione di acqua dal materiale verso l'ambiente (valori di velocità di evaporazione superiori a circa $1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$ possono comportare fessurazioni plastiche).

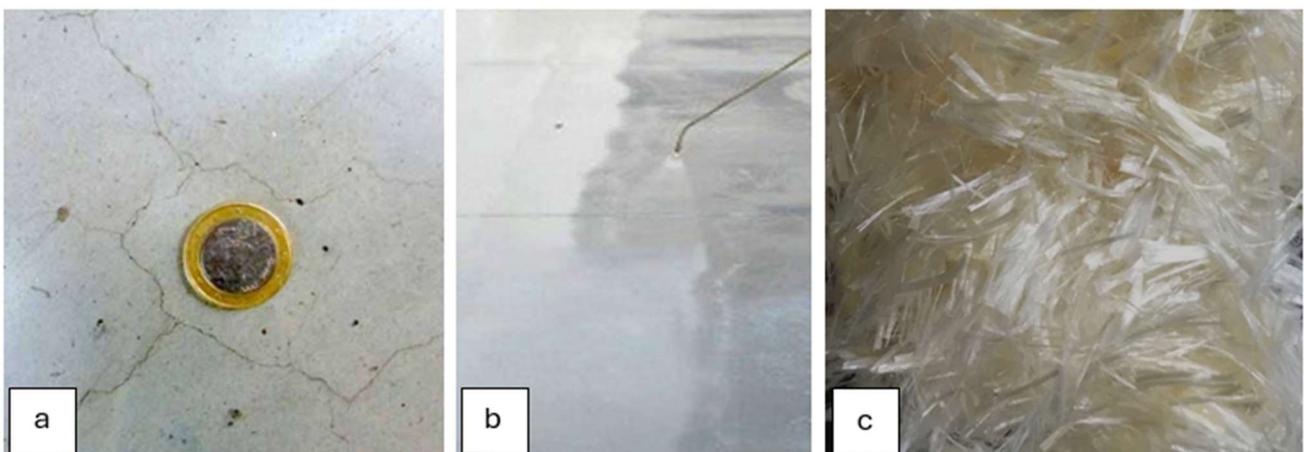


Figura 2 – (a) Fessure da ritiro plastico – (b) applicazione di un Curing Compound – (c) Fibre polipropileniche

Una semplice copertura delle lastre con teli impermeabili o una loro bagnatura continuata (mediante acqua nebulizzata) durante i primi giorni dal getto è sufficiente a gestire il potenziale problema. Una valida alternativa (Figura 2, b) alle soluzioni ora proposte è quella dell'applicazione di **membrane anti-evaporanti** consistenti in un agente stagionante (*curing-compound*) che, nebulizzato

sulla superficie della pavimentazione, forma un sottile film protettivo che, di fatto, si comporta come un telo impermeabile che blocca l'evaporazione dell'acqua. Le principali tipologie di Prodotto disponibili si distinguono in stagionanti a base acqua (**CURING W**) e stagionanti a base solvente (**CURING S**). Si segnala inoltre, che un valido aiuto nel contrastare lo sviluppo di cavillature plastiche possa arrivare dall'inserimento nel calcestruzzo di piccoli quantitativi di fibre in polipropilene (Figura 1, c), quali le **FIBERCOLL MICRA** di General Admixtures (Figura 2, c).

3.2 Ritiro Igrometrico e giunti di contrazione

A differenza di quello plastico, il **ritiro igrometrico** è dovuto invece al fatto che il calcestruzzo, una volta indurito, viene a trovarsi in un ambiente insaturo, ovvero caratterizzato da una umidità relativa (U.R.) inferiore al 95%. Tale condizione comporta lo sviluppo di fisiologica contrazione del materiale chiamata appunto ritiro igrometrico.

Di fatto si tratta di una contrazione inevitabile, tanto che la soluzione più comune per "gestirla" è semplicemente quella di realizzare opportuni "**giunti di contrazione**" o "giunti di controllo" che, indebolendo specifiche sezioni mediante opportuni tagli (Figura 3, a), convogliano proprio al loro interno le fessurazioni (Figura 3, d), evitando che queste vadano ad interessare, in maniera casuale e generale, tutta la lastra.

L'esecuzione dei giunti di contrazione deve avvenire nel rispetto di una precisa geometria (Figura 3, c) e tempistica ben precisa: da un lato bisogna attendere che il calcestruzzo raggiunga una resistenza minima che gli consenta di "ricevere" il taglio senza dare luogo a "sbrecciature", dall'altro non bisogna attendere troppo tempo altrimenti la contrazione da ritiro potrebbe fessurare le lastre.

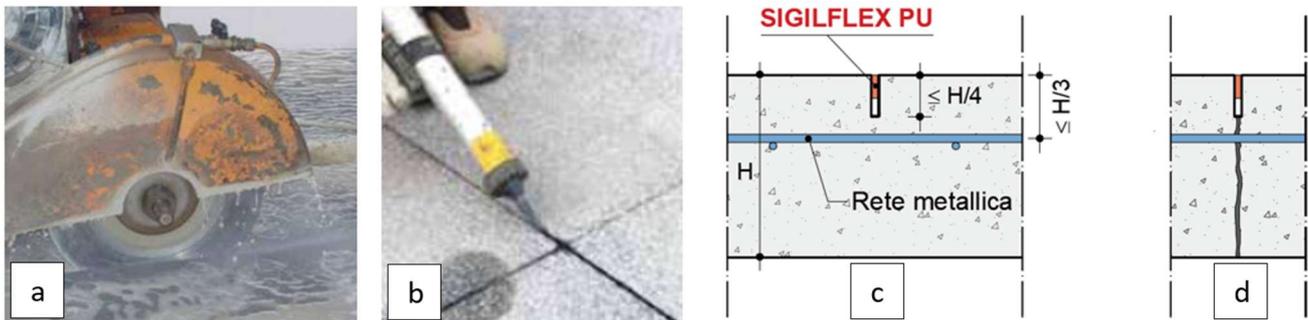


Figura 3 –Taglio (a) e sigillatura (b) dei giunti di contrazione – Geometria (c) e funzionamento (d) dei giunti

Subito dopo la realizzazione dei giunti è fondamentale la loro sigillatura (Figura 3, b) mediante specifici prodotti adesivi e sigillanti dal comportamento elastico, quali quelli a base poliuretanic della Linea **SIGILFLEX**.

Il ruolo di tali prodotti è fondamentale per preservare l'integrità dei giunti nel tempo e quindi aumentare la durabilità della pavimentazione.

Essi infatti:

- Sigillano il taglio evitando che al loro interno possa, nel tempo, accumularsi materiale polveroso e sporcizia;
- Impermeabilizzano il giunto, impedendo all'acqua ed alle sostanze aggressive di penetrare al suo interno;
- Evitano che gli spigoli dei tagli rimangano "vivi" e quindi esposti a sbrecciature da urti;
- Grazie alla loro elasticità, assecondano i piccoli movimenti tra i vari riquadri di pavimentazione senza rompersi, conservando la loro capacità protettiva.

3.3 Additivi SRA riduttori di ritiro e macro fibre rigide

La distanza tra i giunti di contrazione dipende chiaramente dall'entità del ritiro del calcestruzzo, potendo aumentare laddove la contrazione igrometrica venga opportunamente limitata.

In questa direzione lavorano i cosiddetti **Additivi Riduttori di Ritiro**, noti con l'acronimo SRA (*Shrinkage Reducing Admixtures*). Parliamo di prodotti innovativi, quali il **GINIUS SRA1**, che in realtà, una volta introdotti all'interno del calcestruzzo, svolgono due diverse funzioni fondamentali:

- 1) Riduzione della contrazione da ritiro igrometrico del calcestruzzo;
- 2) Esaltazione dell'efficacia degli agenti espansivi, grazie alla loro azione "auto-stagionante" del calcestruzzo;

In merito alla riduzione del ritiro igrometrico, è oggi ampiamente dimostrato come un calcestruzzo additivato con un additivo tipo SRA presenti, a parità di tutte le altre condizioni, valori di ritiro igrometrico inferiori anche del 50% rispetto a calcestruzzi non additivati.

La diretta ed immediata conseguenza di questo risultato è quella di poter distanziare maggiormente i giunti di contrazione, passando dai canonici 3÷5 m tipici dei calcestruzzi "tradizionali" (la variabilità è legata allo spessore della lastra) fino a circa 6÷8 m.

Diversi sono i benefici:

- 1) Riduzione degli oneri per l'esecuzione dei tagli e per la loro successiva sigillatura;
- 2) Riduzione dei potenziali ammaloramenti dei giunti;
- 3) Riduzione dei costi di manutenzione dei giunti;
- 4) Migliore aspetto estetico della pavimentazione.

Una versione ulteriormente migliorata del calcestruzzo a ritiro ridotto ora descritto è quello che prevede, in aggiunta all'additivo SRA, l'impiego di specifiche macro fibre rigide, polimeriche o metalliche (**FIBERCOLL FLEX 40**, **FIBERCOLL FLAT**, **FIBERCOLL TOP** e **FIBERCOLL STEEL 60/65** di Figura 4 a, b, c).



Figura 4 – Fibre tipo: (a) FIBERCOLL FLEX 40, (b) FIBERCOLL FLAT, (c) FIBERCOLL TOP, (c) FIBERCOLL STEEL 60/65

Esse, uniformemente distribuite nella massa di calcestruzzo, sono in grado di intercettare e bloccare immediatamente le eventuali micro-fessure nell'istante della loro formazione.

In questo modo, grazie all'azione sinergica SRA-Fibre il rischio di propagazione delle fessure è estremamente ridotto.

Le fibre, che di fatto si comportano come una "armatura distribuita" (Figura 5 a), possono consentire l'eliminazione della classica rete metallica (Figura 5 b) preposta al controllo della fessurazione, con una serie di interessanti benefici:

- 1) Riduzione degli oneri legati all'approvvigionamento e posizionamento delle reti;
- 2) Getto diretto del calcestruzzo (per gravità) dall'autobetoniera, senza ausilio di pompa, con conseguente riduzione dei costi (noli), velocizzazione del lavoro ed eliminazione di possibili inconvenienti dovuti al bloccaggio/malfunzionamento della pompa;
- 3) Eliminazione delle conseguenze legate ad errori di posizionamento della rete;
- 4) Migliore mobilità degli operatori durante la posa in opera.

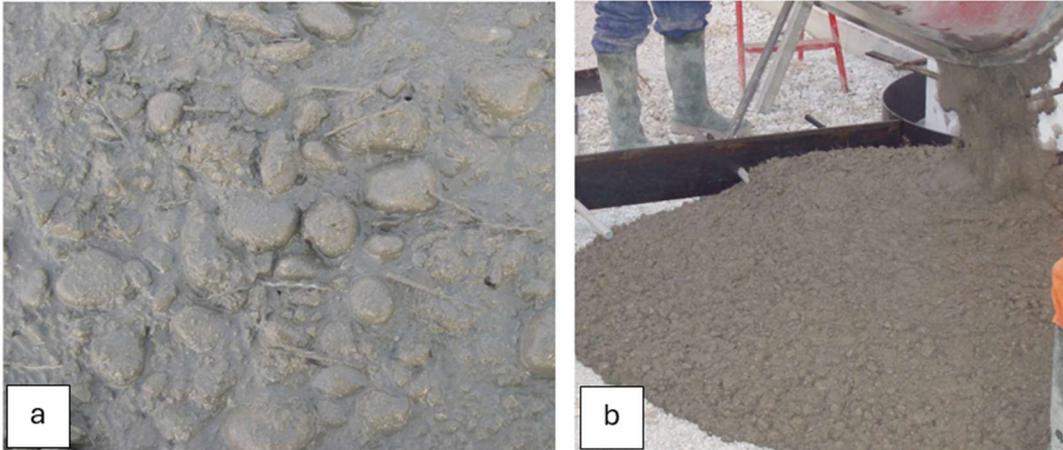


Figura 5 – (a) Particolare di un calcestruzzo fibrorinforzato per pavimenti e sua posa in opera senza rete (b)

3.4 Agenti Espansivi in sinergia con gli additivi SRA

Il livello tecnologico per la gestione del fenomeno del ritiro igrometrico nelle pavimentazioni si alza ulteriormente ricorrendo all'utilizzo di specifici **Agenti espansivi (EXPANCOLL** di General Admixtures), prodotti capaci di aumentare (alle brevissime stagionature) il volume del calcestruzzo a seguito di reazioni chimiche controllate che avvengono in presenza di umidità.

La predisposizione di una opportuna armatura "di contrasto" nella pavimentazione, consente di "contenere" questo aumento di volume, trasformando di fatto in una benefica coazione interna di precompressione (stesso principio comunemente adottato nella classica precompressione, ma con livelli tensionali molto più contenuti).

In queste condizioni, la successiva contrazione da ritiro (che subentrerà inevitabilmente nei giorni successivi al getto) si limiterà semplicemente a ridurre man mano l'iniziale precompressione senza portare, anche a lungo termine, il materiale in trazione, con conseguente tutela nei confronti della fessurazione.

Questa tecnologia, supportata da adeguate fasi progettuali e realizzative, consente di realizzare campiture di pavimentazione di circa 600÷900 m² senza giunti di contrazione (il limite inferiore è indicativamente riferito a pavimentazioni esterne, esposte a ritiri maggiori, mentre il limite superiore si riferisce a pavimentazioni realizzate in ambienti interni).

Si vuole sottolineare un aspetto estremamente importante, già introdotto in precedenza. In un calcestruzzo "espansivo" quale quello appena descritto, il ruolo dell'additivo **GINIUS SRA1** diviene fondamentale perché oltre a ridurre, come detto, il ritiro dopo la iniziale espansione, **fa aumentare l'effetto espansivo dell'EXPANCOLL durante la stagionatura iniziale del calcestruzzo.**

3.5 Quadro riassuntivo delle tecnologie “anti-ritiro”

La Figura 6 riassume graficamente quanto sino ad ora descritto. Sono rappresentate una serie di curve che rappresentano le dilatazioni (contrazioni, negative ed espansioni, positive) nel tempo di quattro tipologie di calcestruzzi, misurate secondo le prescrizioni della UNI 8148.

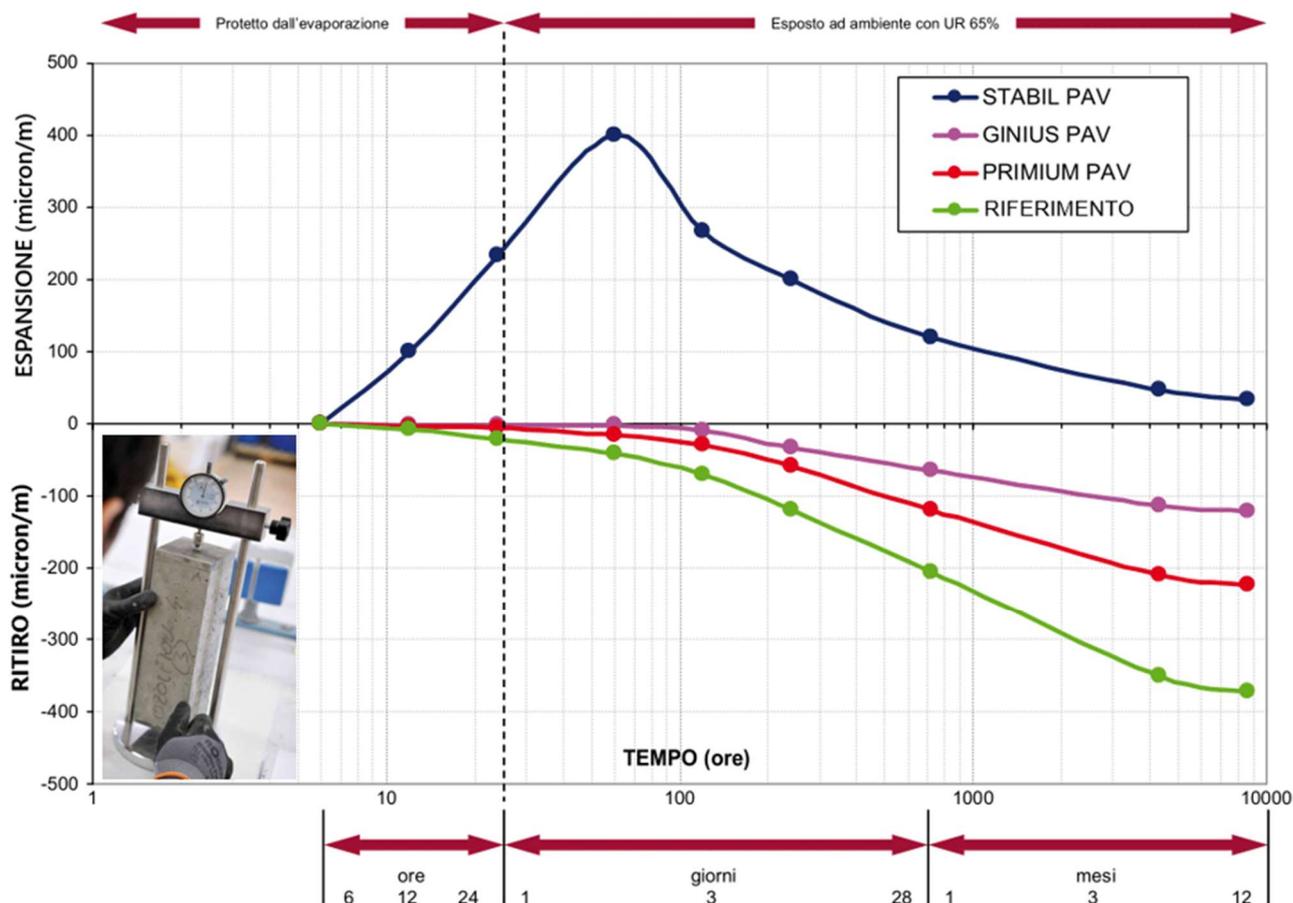


Figura 6 – Comportamento deformativo di calcestruzzi per pavimentazioni in funzione della tecnologia impiegata

La prima curva, in verde, riguarda un calcestruzzo definito “*riferimento*” confezionato senza aggiunta di additivi (superfluidificante/SRA).

La seconda, rappresentata in rosso, è relativa ad un calcestruzzo di pari lavorabilità confezionato con l'introduzione di un additivo della linea **PRIMIUM FLOOR** (Sistema **PRIMIUM PAV** di General Admixtures): la riduzione del contenuto di acqua e l'ottimizzazione del contenuto di cemento hanno consentito di ridurre il rapporto acqua/cemento e di incrementare il rapporto aggregato/cemento, con conseguente riduzione di ritiro nel tempo.

La terza, di colore viola, vede l'introduzione dell'additivo **GINIUS SRA1** (Sistema **GINIUS PAV** di General Admixtures) con la conseguente riduzione del ritiro igrometrico, rispetto al caso precedente, di circa il 50% (**CALCESTRUZZO A RITIRO RIDOTTO**).

L'ultima curva, tracciata in blu, rappresenta un comportamento completamente differente rispetto ai primi tre. L'utilizzo combinato **GINIUS SRA1** con l'agente espansivo **EXPANCOLL** (Sistema **STABIL PAV** di General Admixtures) consente di confezionare quello che ormai è comunemente noto come **CALCESTRUZZO A RITIRO COMPENSATO**. L'iniziale espansione del calcestruzzo, dovuta all'agente espansivo (positivamente favorita dall'azione auto-stagionante

dell'additivo SRA), riesce a compensare la graduale contrazione da ritiro che si manifesta nel tempo, facendo permanere, a lungo termine, una benefica precompressione residua che tutela la pavimentazione nei confronti della fessurazione.

4. TRATTAMENTI SUPERFICIALI ANTIUSURA ED ANTIMACCHIA

Si vuole riservare, al termine dell'articolo, un piccolo spazio ad una Tecnologia che, negli ultimi anni, ha trovato largo impiego nella realizzazione del cosiddetto "**strato antiusura**" delle pavimentazioni in calcestruzzo.

Come dice il termine stesso, si tratta della realizzazione di uno strato superficiale che sia particolarmente resistente nei confronti delle possibili azioni abrasive derivanti dalle attività che si svolgeranno quotidianamente sul pavimento.

Tradizionalmente detto strato superficiale può essere realizzato con tre diverse tecniche:

- a) La tecnica a spolvero;
- b) La tecnica a pastina;
- c) La tecnica a massetto;

La prima consiste nella applicazione, *fresco su fresco* (quando cioè il pavimento non ha ancora ultimato la fase di presa ma consente alle maestranze di potervi camminare senza deformare il materiale), di una miscela anidra cemento/quarzo, adeguatamente *incorporata* nel calcestruzzo mediante la cosiddetta tecnica della *elicotteratura*. La locale riduzione del rapporto acqua/cemento, assieme alla presenza di aggregati molto resistenti all'usura, incrementa le prestazioni dello strato corticale e, con esse, la resistenza all'abrasione ed all'usura.

La seconda tecnica prevede la stesa, sulla superficie del calcestruzzo, di una malta plastico-fluida in spessore di circa 10 mm che assolverà al compito di resistere alle azioni abrasive.

Infine, la terza opzione prevede la realizzazione di un vero e proprio "massetto", ovvero di uno strato centimetrico (10÷30 mm) deputato anch'esso, come nel caso precedente, a farsi carico delle azioni abrasive.

In tutti questi casi, esiste la possibilità che una non adeguata posa in opera comporti dei problemi.

Nel primo caso, l'operazione di frattazzatura ed incorporo della miscela anidra di rinforzo deve avvenire rispettando una tempistica estremamente precisa. Una lavorazione troppo anticipata potrebbe portare alla formazione di "lenti d'acqua" al di sotto dello strato di usura.

Queste, dopo l'evaporazione dell'acqua, lascerebbero dei vuoti ed il successivo transito di veicoli porterebbe al distacco dello strato di rinforzo. Una lavorazione eseguita in ritardo troverebbe il calcestruzzo ormai andato completamente in presa e non sarebbe possibile incorporare il nuovo materiale ("spolvero") nel calcestruzzo.

Il risultato sarebbe quello di avere una serie di "scaglie" o "cartelle" di strato superficiale antiusura indipendenti dalla lastra. Dette porzioni, scarsamente adese al supporto, risultano facili al distacco a seguito del transito di mezzi (fenomeno dello "scartellamento").

Negli altri due casi, applicando uno strato centimetrico sul pavimento, il rischio di possibili difetti di adesione è sempre possibile.

Una recente alternativa alle lavorazioni ora descritte consiste nella applicazione, sulla pavimentazione finita e stagionata, di specifici prodotti a base di silicati, tipicamente silicati di sodio o potassio (Linea **FLOOR PROTECT** di General Admixtures).

Tali applicazioni, eseguite generalmente a spruzzo o rullo, consentono ai silicati di reagire, in corrispondenza dello strato corticale, con l'idrossido di calcio presente nella matrice cementizia,

per formare prodotti stabili in grado di rinforzare localmente il calcestruzzo e di ridurre la porosità (e quindi anche la capacità di assorbimento di liquidi).

L'effetto che si ottiene va nella direzione di incrementare la resistenza locale all'urto ed all'usura, nonché favorire una proprietà "antimacchia", utile ad evitare che sostanze accidentalmente cadute sul pavimento lascino macchie o aloni anche dopo la loro rimozione.

A differenza delle soluzioni "tradizionali" prima indicate, l'applicazione di questi prodotti risulta piuttosto semplice e non legata a particolari sensibilità degli operatori. Il rispetto di poche e semplici regole applicative, ben descritte nelle relative schede tecniche, consente di scongiurare possibili anomalie o difetti applicativi.