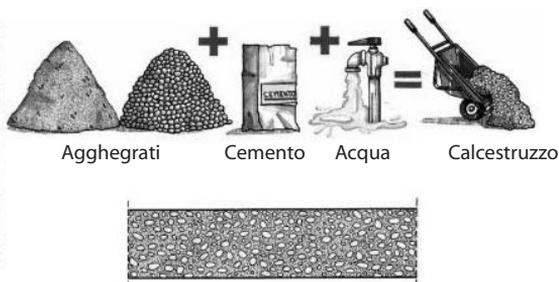


3

Come prescrivere il calcestruzzo

Nel suo più ampio significato il termine “calcestruzzo” indica un’unica massa compatta di frammenti minerali o rocciosi legati tra loro da cemento. Possiamo quindi definire il calcestruzzo come quel materiale formato da una miscela di cemento, aggregati e acqua, con o senza additivi o altro, il quale sviluppa le sue proprietà a seguito dell'idratazione del cemento, che deve, comunque, essere gestita in modo controllato sino al raggiungimento della resistenza meccanica di progetto.



Aggiungiamo anche che, nel suo più alto significato, “il comportamento del calcestruzzo indurito” dipende dagli aggregati e dal cemento di cui dispone l’impianto e sui quali non ci è possibile intervenire, se non rivolgendoci ad altro fornitore.

Ciò che differenzia il calcestruzzo di ordinario impiego da un calcestruzzo per pavimenti è sostanzialmente l’ampia superficie esposta, per i primi giorni, alla situazione ambientale. Ciò è il calcestruzzo di ordinario impiego viene gettato tra casseri, vibrato,

e fatto stagionare sempre protetto dai casseri, mentre costruendo il pavimento, la superficie del calcestruzzo subisce la situazione ambientale durante la fase di presa, durante le ore dell'indurimento e durante i giorni per il raggiungimento delle resistenze di progetto; tre fasi in cui il pavimento (calcestruzzo indurito) è molto sensibile alla situazione ambientale subendone le conseguenze.

Basti pensare al tempo necessario alla lavorazione dal momento della posa in opera del calcestruzzo fresco al momento dell'ultima passata della frattazzatrice meccanica, alcune ore, talvolta oltre le 10 ore a seconda dell'umidità ambientale.

Ma il calcestruzzo per pavimenti subisce una manipolazione diversa. Può essere fornito a piè d'opera a mezzo pompa, con dumper o scaricato dalla benna della gru, viene sistemato in opera con pale e rastrelli, staggiato in quota, poi in fase di indurimento, calpestato per l'applicazione dello strato d'usura e finalmente frattazzato meccanicamente a più riprese.

Durante questo lasso di tempo la superficie è seriamente esposta alle diverse situazioni climatiche che possono interferire sul risultato finale (pioggia, vento, freddo/gelo, caldo/clima secco), senza che nessuna delle parti coinvolte possa interagire con presidi idonei a ridurre gli effetti negativi.



Certo si deve prevedere la chiusura delle aperture perimetrali per evitare il freddo, le correnti d'aria o che la pioggia invada il pavimento, ma cosa altro si può fare? Giurisprudenza indica di sospendere i lavori. Ma i committenti cosa ne pensano?

Oltre alla situazione climatica, il calcestruzzo, durante le prime ore, subisce un apprezzabile mutamento dimensionale a tutti noto come "ritiro". Ritiro che se non contrastato si evidenzia con uno stato fessurativo indesiderato.

Ecco allora la necessità di comprendere la differenza tra un calcestruzzo di ordinario impiego e un calcestruzzo per pavimenti. Ogni impianto di betonaggio dispone di miscele di calcestruzzo di ordinario impiego (per getti protetti tra casseri) e di miscele speciali per usi particolari quali appunto sono i pavimenti.

Per i pavimenti esistono miscele a “ritiro compensato” o a “espansione controllata” che dir si voglia. Sono questo tipo di miscele particolari e più costose che garantiscono però uno stato fessurativo contenuto.

I requisiti di base indispensabili

Il progettista in concerto con il committente definiscono le prestazioni attese dal pavimento e i criteri di accettazione. Poi il progettista ne calcola lo spessore, l’armatura e la resistenza meccanica del calcestruzzo necessaria per resistere alle deformazioni imposte dai carichi d’esercizio.

Però il progettista deve anche prescrivere le caratteristiche della composizione del calcestruzzo, in modo tale che siano soddisfatti i requisiti di durata nel tempo dell’elemento, così come si evince dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (G.U. 14 settembre 2005) e UNI EN 206-1 e UNI 11104.

Le caratteristiche del calcestruzzo vengono identificate e prescritte dal progettista indicando i requisiti di base con cui poi l’impianto di betonaggio dovrà predisporre la composizione della miscela. Requisiti di base riportati obbligatoriamente e da anni sui documenti di trasporto (DDT) o bolle di consegna.

A ogni requisito di base corrisponde la forma abbreviata con i relativi parametri numerici.

I requisiti di base da prescrivere per il calcestruzzo sono dunque:

- 1 la resistenza meccanica misurata su un cubo da 150 × 150 × 150 mm (Rck);
- 2 il diametro massimo dell’aggregato su cui comporre la curva granulometrica (Dmax);
- 3 la consistenza con cui la miscela verrà posta in opera. Le due classi più idonee per pavimenti sono S4 e S5. Con una consistenza S3 e un diametro effettivo di 30 mm sarà difficile ottenere una buona planarità anche impiegando la *laser screed*, poiché la macchina non riesce a tirare verso di sé e a spianare il calcestruzzo;
- 4 la classe d’esposizione (CL E), che poi stabilisce il rapporto acqua/cemento. La norma indica come rapporto A/C parametri variabili da 0,45 a 0,65;
- 5 il tipo e la classe di cemento desiderato;
- 6 le prestazioni particolari richieste (ritiro compensato, aggregati non gelivi, aggregati non reattivi ecc.).

I requisiti di base sono i parametri che in definitiva definiscono il prezzo del calcestruzzo.

3.1 Come prescrivere la resistenza caratteristica del calcestruzzo

La resistenza a compressione è una delle proprietà più importanti del calcestruzzo, anche perché a essa sono correlate altre qualità meccaniche della miscela.

Il calcestruzzo è classificato in funzione della sua resistenza a compressione calcolata per le tensioni previste. La norma italiana prevede che la resistenza a compressione venga misurata su cubi con uno spigolo di 15, 16 o 20 cm a seconda del diametro massimo.

La resistenza caratteristica esprime quel valore di resistenza al di sotto del quale ci si attende che cada solo il 5% del numero di tutti i prelievi eseguiti secondo il piano di campionamento stabilito dal progettista, per quello specifico lotto di fornitura.



Solo prelievi prelevati dal calcestruzzo fresco e prima della posa in opera potranno indicare la conformità della miscela alla resistenza richiesta. Infatti, l'impianto per studiare la resistenza meccanica delle proprie composizioni deve seguire procedure standardizzate da norme cogenti. La verifica deve avvenire nello stesso modo.

Cosa significa resistenza caratteristica per l'impianto

L'indicazione sulla resistenza caratteristica a compressione serve al fornitore di calcestruzzo per produrre, e consegnare, un impasto di calcestruzzo fresco che soddisfi la resistenza caratteristica richiesta prima che venga posto in opera. La progettazione di una miscela di calcestruzzo avviene seguendo le procedure definite dalla norma cogente. Procedure standardizzate che devono essere seguite anche per i controlli e le verifiche di conformità. Una di queste procedure è il confezionamento dei cubetti, la maturazione in acqua degli stessi e la procedura per il calcolo della resistenza a seconda dei cubetti a disposizione. La resistenza caratteristica, si indica come definito nel prospetto 7 della norma UNI EN 206; indicando i due valori di resistenza su prelievi cubici e cilindrici. Per esempio: C25/30, significa 25 N/mm² di resistenza caratteristica su provini cilindrici e 30 N/mm² di resistenza caratteristica su provini cubici, prelevati dal calcestruzzo allo scarico dell'autobetoniera.

In Italia lo standard per definire la resistenza caratteristica a compressione è il simbolo Rck che si riferisce al valore di resistenza caratteristica a compressione verificata su provini di forma cubica. Sul DDT viene riportato il simbolo Rck seguito dal valore.

Cosa significa resistenza caratteristica per il pavimento

I carichi applicati sul pavimento innescano tensioni di trazione per flessione. La resistenza a trazione per flessione, detta anche modulo di rottura (MR), può essere desunta dalla resistenza a compressione caratteristica:

$$MR = 1,2 \cdot 0,27 \cdot \sqrt[3]{Rck^2}$$

Per effetto dell'azione ripetuta dei carichi, il pavimento subisce la rottura a fatica in corrispondenza di valori di tensione inferiori alla resistenza statica del materiale. Quando il pavimento viene sottoposto a tensioni inferiori al 50-60% della Rck, non si manifestano fenomeni di fatica, ma nel caso i carichi d'esercizio, l'intensità del traffico o lo stato del supporto inneschino tensioni superiori al 50-60% della Rck, (ovvero si superi il limite di fatica), allora si avranno modifiche sostanziali all'interfaccia aggregato matrice cementizia con microlesioni e successivo stato fessurativo.

Nei pavimenti sottoposti a compressione (ovvero che appoggiano su supporto indeformabile) il limite di fatica è pari al 60% della Rck. Nei pavimenti sottoposti a sforzi di trazione per flessione (che appoggiano su supporti deformabili quali solette prefabbricate ecc.) il limite di fatica è pari al 50% della Rck.

L'attenzione del progettista nel prescrivere la resistenza caratteristica del calcestruzzo non deve considerare solo ed esclusivamente il valore matematico, poiché la superficie del pavimento potrebbe subire il trascinamento di corpi contundenti o subire urti da corpi contundenti e pesanti. Allora in questo caso la norma ci viene in aiuto poiché suggerisce di adottare una resistenza a compressione non inferiore a C30/37 ed elevata distribuzione di granuli grossi. La resistenza C30/37 è anche garanzia per resistere a un numero di urti superiori a quanto potrebbe reggere un C20/25 richiesto.

Come può essere influenzata la resistenza caratteristica

Il raggiungimento della resistenza di progetto può essere vanificata da una non corretta manipolazione durante la posa in opera (mezzo o metodo di trasferimento del calcestruzzo dall'autobetoniera a piè d'opera), da aggiunte d'acqua per migliorarne la lavorabilità (necessaria al mezzo o metodo di trasferimento a piè d'opera delle miscele), da una non corretta compattazione (necessaria a seconda della consistenza con cui vengono fornite le miscele), da una non corretta maturazione e/o da agenti climatici.

Situazioni e fattori che, in caso di vizio o degrado, è necessario indagare, come si vedrà nei capitoli specifici.

Pertanto il progettista nell'attribuzione del valore alla Rck deve considerare la perdita di resistenza e conseguentemente maggiorarla.

Controlli di conformità sul calcestruzzo fresco

Il controllo della qualità del calcestruzzo e la sua rispondenza alle caratteristiche richieste dal capitolato o da chi ordina il calcestruzzo deve avvenire così come stabilito dalle Norme Tecniche per le Costruzioni e UNI EN 206-1 e UNI 11104.

Un tecnologo preleva dal calcestruzzo fresco e direttamente dall'autobetoniera, un numero prestabilito di provini cubici. I prelievi e il confezionamento dei provini e la

successiva maturazione devono avvenire secondo procedure ben standardizzate dalle norme (sommersi in acqua per 28 giorni a temperatura costante di 20 °C) e non devono essere lasciati/abbandonati in cantiere). Per la composizione della ricetta, il fornitore del calcestruzzo si basa su una resistenza caratteristica, definita come quella resistenza che sarà superata dal 95% dei provini esaminati.

Inoltre si consideri che:

- i provini confezionati in casseri di polistirolo presentano una resistenza inferiore ai provini confezionati in casseri metallici o di PVC;
- non possono essere prelevati campioni e confezionati provini da personale non istruito e senza che prelievo e confezionamento avvengano in contraddittorio;
- per il giudizio di conformità della resistenza del calcestruzzo, la totalità del calcestruzzo usato verrà suddivisa in lotti di cui si dovrà giudicare la conformità. La norma cogente prevede un piano di campionamento in subordine al quantitativo di calcestruzzo fornito. il prelievo del calcestruzzo fresco per confezionare i provini, deve avvenire direttamente allo scarico dell'autobetoniera, quindi prima che il calcestruzzo venga posto in opera;
- i risultati a rottura non sono mai strettamente omogenei, ma dispersi in un certo intervallo. La dispersione dei valori della resistenza è dovuta, in larga misura, alla normale eterogeneità degli impasti, oltre che a possibili variazioni nell'ambito dei processi costruttivi del pavimento (lunghe percorrenze, caldo e soste delle autobetoniere sotto il sole);
- la rottura deve essere demandata a un laboratorio ufficiale;
- la responsabilità per i prelievi è demandata al direttore dei lavori, il quale deve assistere in contraddittorio e trasmettere i provini a un laboratorio richiedendo le prove prescritte dal progettista.

3.2 Come prescrivere il diametro massimo dell'aggregato

Il diametro massimo (D_{max}) indica la dimensione in mm del granulo più grande di aggregato impiegato nella composizione del calcestruzzo fresco per la composizione granulometrica della miscela.

A cosa serve il diametro massimo

Indicare il D_{max} serve all'impianto per comporre quella distribuzione granulometrica che, con un lavoro ragionevole, conferisce al calcestruzzo fresco quella compattazione necessaria per raggiungere il valore ideale prossimo al 100%.

Come si prescrive il diametro massimo

Si indica come definito al paragrafo 4.2.2 della norma EN 206, per esempio $D_{max} 22$: significa che la curva granulometrica degli aggregati è basata sul "diametro massimo di 22 mm". Sui DDT viene sempre indicato.

Come si sceglie il diametro massimo

Per motivi di resistenza meccanica il diametro massimo viene rapportato allo spessore del pavimento, e/o con la quantità di armatura prevista. Anche il metodo di posa in opera influisce sulla scelta. Per esempio, il getto con pompa richiede una curva più sabbiosa di un getto con scarico diretto. Comunque in Italia raramente si utilizzano aggregati con diametro superiore ai 30-35 mm.

Per pavimenti di spessore superiore ai 10 cm sarà necessario impiegare miscele confezionate comunque con Dmax 30 mm cercando di ridurre il quantitativo di sabbia.

Cosa dipende dal diametro massimo

La scelta del diametro massimo influenza il quantitativo minimo di acqua necessaria alla miscela. Infatti più piccolo è il Dmax e maggiore sarà l'acqua di base necessaria per confezionare la miscela.

Questo è uno dei motivi per cui è preferibile richiedere miscele con Dmax 30 (il massimo disponibile in quasi tutte le centrali di betonaggio italiane).



La foto riprende la semplice attrezzatura necessaria per monitorare il clima e il calcestruzzo fresco: 1. anemometro per la velocità del vento; 2 termometro per temperatura dell'ambiente e del cls; 3 bilancia di precisione 1 g; 4 contenitore per massa volumica; 5 padella per bruciare il cls fresco con alcool; 6 sessola per prelievo cls; 7 stacci secondo UNI per composizione granulometrica del cls; 8 setaccio per verifica omogeneità fornitura passante al diametro 5 mm; 9 cubiera plastica da 150 × 150 × 150 mm.

Come può essere verificato il diametro massimo

Con prelievi di calcestruzzo fresco si può monitorare il D_{max} utilizzato e la composizione, dal contenuto di acqua al contenuto di fini. Sarà sufficiente prelevare un quantitativo noto di calcestruzzo, renderlo anidro con l'alcool e impiegare gli stacci di norma. Un metodo invece più sbrigativo è quello di versare il prelievo in uno staccio e immergerlo in acqua per dilavarlo. Il trattenuto nello staccio (il residuo) indicherà il diametro.

Precauzioni contro aggregati reattivi o gelivi

In molte regioni d'Italia è in fase d'evoluzione un fenomeno preoccupante: l'espulsione di scaglie di calcestruzzo dalla superficie del pavimento. Il degrado si manifesta solo sulla parte corticale del pavimento e si innesca in presenza di acqua/umidità.

Diverse sono le cause di questo fenomeno osservato, i cui dettagli verranno trattati nei paragrafi 8.3 e seguenti. In questo capitolo si cerca di porre l'attenzione del prescrittore nel richiedere un calcestruzzo con aggregati non reattivi o gelivi e indicare nelle prescrizioni che il calcestruzzo deve essere idoneo per la costruzione di un pavimento.

Infatti, qualora il pavimento sia esposto in ambiente umido (oltre il 70%) o all'esterno con ambiente umido e presenza di gelo, il produttore di calcestruzzo deve essere informato in forma scritta affinché nella composizione:

- siano impiegati aggregati che non contengano varietà di silice suscettibile da attacco degli alcali (Na_2O e K_2O) provenienti dal cemento o da altre fonti;
- sia usato un cemento a basso contenuto di alcali;
- siano impiegati aggregati non gelivi o sensibili al gelo come definito nella parte 20a della norma UNI 8520.

Nel caso il fornitore non sia certo della qualità dei componenti, dovrebbe rinunciare alla fornitura o attivarsi per fornire un calcestruzzo privo di "sorprese".

3.3 Come prescrivere la classe di consistenza

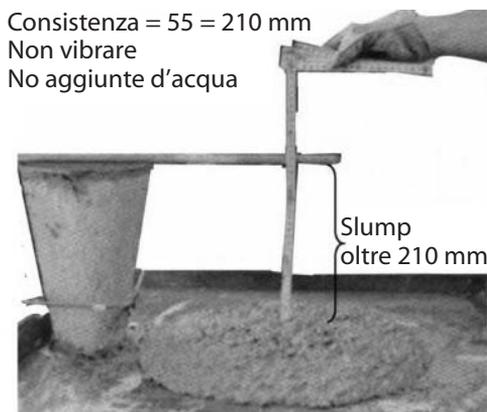
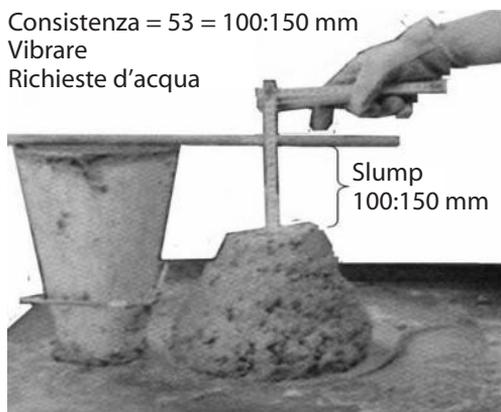
La posa in opera del calcestruzzo fresco avviene per scorrimento del materiale su se stesso. Il pavimentista si avvale di un utensile (la così detta "zappa") per spostare gli aggregati. La difficoltà di posa in opera è quindi tanto maggiore quanto più elevato è l'attrito interno del calcestruzzo.

Questo attrito interno determina la consistenza del materiale che viene indicata come *slump* o abbassamento al cono. Dunque in definitiva si può affermare che la classe di consistenza è quella proprietà del calcestruzzo fresco essenziale per consentire una corretta fornitura a piè d'opera e una corretta posa in opera degli impasti.

A cosa serve la classe di consistenza

La classe di consistenza stabilisce quale sia la consistenza che soddisfi la posa in opera degli impasti con un lavoro ragionevole, consentendo soprattutto una completa compattazione del materiale.

Serve all'impasto per stabilire il quantitativo di additivo da aggiungere alla miscela per rendere l'impasto consistente secondo la richiesta. Sappia però il prescrittore che una consistenza bassa (S2, S3) richiede obbligatoriamente la compattazione in opera del materiale attraverso una vibrazione che sarà più energica più basso sarà il valore della consistenza.



La foto riprende un calcestruzzo a bassa consistenza e per il quale si rende obbligatoria la vibrazione, per costipare il materiale a rifiuto così da raggiungere le resistenze. Si osservino i vuoti nonostante il materiale sia stato pestellato a norma. Questo calcestruzzo non potrà mai raggiungere la resistenza nel caso non venga insistentemente vibrato. Invece la foto a fianco riprende un calcestruzzo a consistenza S5 per il quale non è necessaria la vibrazione né tanto meno le aggiunte d'acqua.

Come si indica la classe di consistenza

Si indica come quel valore di riferimento ottenuto misurando l'abbassamento al cono di Abrams dell'impasto fresco. Il prospetto 3 della norma EN 206, qui proposto, riporta le diverse classi di consistenza. Così per esempio, S4 significa un abbassamento al cono di Abrams da mm 160 a mm 210. Da notare che nei listini prezzi italiani non vengono proposte classe di consistenza S1, S2, S3 per evitare aggiunte d'acqua in cantiere. Infatti la consistenza è un parametro che influisce maggiormente sul prezzo del calcestruzzo.

Non vengono esposti i prospetti relativi alle classi di consistenza misurate mediante il metodo VeBe, mediante la misura della compattabilità e mediante la misura dello spandimento poiché sono metodi poco diffusi e forse più idonei al laboratorio. I valori sono comunque reperibili nella norma EN 206-1. Sul DDT la consistenza viene indicata con il simbolo S.

Classe di consistenza	Abbassamento cono in mm	Denominazione corrente
S1	Da 10 a 40	Umida
S2	Da 50 a 90	Plastica
S3	Da 100 a 150	Semifluida
S4	Da 160 a 200	Fluida
S5	> 210	Superfluida

Come si sceglie la classe di consistenza

La scelta sulla classe di consistenza dipende dalle difficoltà di posa in opera e dalle capacità delle maestranze. La maggior parte delle centrali di betonaggio fornisce calcestruzzo a partire da S4. E questo giustamente per evitare che si aggiungano in cantiere quantità d'acqua che riducono le prestazioni del calcestruzzo. Questa scelta è estremamente corretta. Pertanto il prescrittore deve scegliere la consistenza a seconda della manipolazione in opera del calcestruzzo, che per un pavimento può essere meccanica (con *laser screed* o vibrofinitrice) e quindi consistenza S4, oppure manuale e quindi consistenza S5.

Utile ricordare che:

- una classe di consistenza S3 necessita di energica vibrazione per compattare il calcestruzzo e quindi raggiungere la resistenza di progetto. Costruire un pavimento con calcestruzzo a consistenza S3 è difficile anche con l'ausilio della *laser screed*. In manuale non è possibile manipolare questa consistenza;
- una classe di consistenza S4 necessita di una limitata azione vibrante quale una *laser screed* è in grado di conferire. La posa manuale può avvenire, ma solo nel caso di superfici limitate e clima non caldo;
- una classe di consistenza S5 non necessita di azione vibrante se non attorno ai caseri e agli elementi di confine (canaline, pozzetti e guide dei portoni) in prossimità dei quali è previsto il transito di muletti.

Utile considerare che ordinare una consistenza difficilmente lavorabile comporta dei costi inferiori d'acquisto del calcestruzzo, ma maggiori oneri di posa in opera e una peggiore qualità del pavimento.

Come può essere influenzata la classe di consistenza

In generale, è proibita qualsiasi aggiunta d'acqua in cantiere. Nel caso la consistenza risultasse inferiore del valore massimo richiesto, sarà possibile aggiungere una modesta quantità d'acqua, sotto la responsabilità del produttore, se ciò serve a riportare la consistenza al valore di specifica e purché non ne siano superati i valori.

Nel caso fosse aggiunta una quantità d'acqua maggiore di quanto permesso dalla specifica, sul DDT l'aggiunta deve essere registrata, e chi ha autorizzato tale aggiunta è responsabile delle conseguenze. In questo caso il responsabile dell'autorizzazione è chi ha ordinato il calcestruzzo con una consistenza non adeguata per costruire un pavimento.

Le aggiunte di acqua in cantiere oltre al consentito possono ridurre la resistenza meccanica del calcestruzzo e possono avvenire per un solo e unico motivo: il calcestruzzo non dispone della classe di consistenza necessaria alla posa e alla manipolazione in opera. A questo motivo si possono attribuire alcune spiegazioni plausibili che coinvolgono:

- *l'impianto di calcestruzzo*, che non fornisce la miscela nella consistenza richiesta. Respingere il calcestruzzo quando si costruisce un pavimento non è possibile per le tragiche conseguenze che tale decisione comporta con i ritardi nelle successive forniture. Pertanto se la consistenza è minore di quella prescritta/richiesta, può essere portata fino al valore prescritto mediante aggiunta di acqua o additivi in cantiere, purché il valore massimo del rapporto A/C riferito alla classe d'esposizione richiesta non venga in questo modo superato. Quindi se viene chiesta una consistenza S4 (caduta al cono da 160 a 200 mm) ma il calcestruzzo arriva in cantiere con una caduta di 170 mm, è possibile l'aggiunta;
- *il committente*, che considera il costo del metro cubo di calcestruzzo che varia (per la stessa resistenza e stessa classe d'esposizione) con il variare della classe di consistenza poiché vengono usati additivi super/iperfluidificanti. Così molto spesso il committente richiede un calcestruzzo in classe di consistenza S3 il cui costo è nettamente inferiore a una classe S4 o S5. Basta consultare qualsiasi listino prezzi per averne conferma. Questa situazione è talmente ricorrente che molti impianti stanno eliminando dai loro listini la classe S3, proprio per evitare diatribe sull'aggiunta d'acqua in cantiere. Un'altra situazione attribuibile al committente è la scelta di un impianto di betonaggio lontano dal cantiere, ovvero con tragitto che influisce sui tempi di presa e quindi sulla consistenza;
- *il pavimentista*, che molto spesso in cantiere deve affrontare intoppi durante la posa in opera del calcestruzzo, con la conseguenza che le autobetoniere sono obbligate a una sosta prolungata. Il calcestruzzo non lo si manda mai indietro, per evitare ulteriori ritardi con problemi di formazione di "giunti freddi" tra il calcestruzzo posto in opera e fornito dalle diverse autobetoniere, ma si preferisce aggiungere acqua. Per evitare aggiunte d'acqua, è preferibile richiedere sempre una consistenza S5 o aggiungere l'additivo in cantiere.

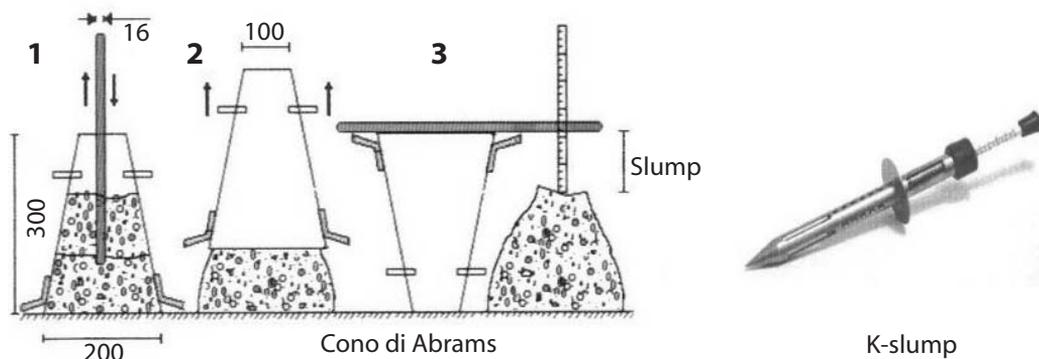
Come può essere verificata la classe di consistenza

Il controllo della consistenza può avvenire esclusivamente nell'intervallo di tempo tra la miscelazione all'impianto e la posa in opera dell'impasto prima che il calcestruzzo venga compattato a piè d'opera. Ovvero la consistenza della miscela si controlla solo

sul calcestruzzo fresco e prima di essere posto in opera e con i metodi e le modalità descritti nella norma EN 12350 e UNI 9418 (abbassamento al cono).

La miscela è conforme allorché la misura di abbassamento al cono di Abrams (*slump*) rientra nel valore minimo e massimo della classe richiesta.

Siccome la miscela di calcestruzzo non è una ricetta certa e omogenea (sono dei sassi legati con cemento e acqua), il legislatore ammette una certa forcella prestazionale per i requisiti di base e, per la consistenza, è di 5 cm per ciascuna classe.



Il disegno illustra le fasi per la misura della consistenza o dello *slump* attraverso il cono di Abrams. Il calcestruzzo fresco si inserisce nel cono in tre livelli (1). Ciascun livello viene pestellato per ottenere una buona compattazione. Il cono si sfilava (2) e si misura l'abbassamento (3). Uno strumento molto affidabile, normato in America (ASTM C 1362), ma non in Italia, per la misura della consistenza o *slump* e del grado di compattazione è il K-slump. Lo strumento si inserisce nel calcestruzzo fresco e dopo 60 secondi si inserisce l'astice graduata per verificare con una prima misurazione lo *slump* e con una seconda misurazione il grado di compattazione, sollevando lo strumento fuori dal calcestruzzo.

Le conseguenze di una consistenza non idonea alla manipolazione

Prescrivere una consistenza non idonea alla manipolazione in opera influisce negativamente sul risultato finale.

Lo scarico diretto del calcestruzzo con una consistenza S3 forma segregazione e vuoti d'aria; rende complicata la posa in opera che richiede obbligatoriamente la vibrazione prolungata; riduce notevolmente la produzione giornaliera di superficie pavimentata.

Lo scarico a mezzo benna del calcestruzzo con una consistenza S3 rende difficoltoso lo svuotamento del materiale dalla benna, poiché si forma un ponte di aggregati che impedisce lo scarico in modo agevole, complicandolo notevolmente.

Lo scarico a mezzo pompa del calcestruzzo con consistenza S3 intasa i tubi in continuazione; non penso esistano in Italia molti addetti alle pompe che vogliano pompare un S3, in particolare se Rck 25 con Dmax 30 mm.



Le due foto riprendono il confronto tra un calcestruzzo in classe di consistenza S5 (foto A) e in classe di consistenza S3 (foto B). Ogni commento dovrebbe essere superfluo per comprendere differenza e difficoltà e risultato tecnico. La consistenza S3 richiede un'ottima vibrazione che coinvolga tutto lo spessore di calcestruzzo.

Il paragone proposto nella foto è sufficientemente chiaro per comprendere cosa possa rappresentare una consistenza errata per i tre metodi di fornitura del calcestruzzo a piè d'opera. Consistenza errata riferita a S3, che richiede comunque un'aggiunta d'acqua.

Ma perché allora si richiede una consistenza S3? Solo per una questione di risparmio sciocco e privo di buonsenso, poiché si ripercuote in modo inesorabile con degradi sul pavimento. Dunque è la consistenza la causa principale del degrado e non l'aggiunta d'acqua.

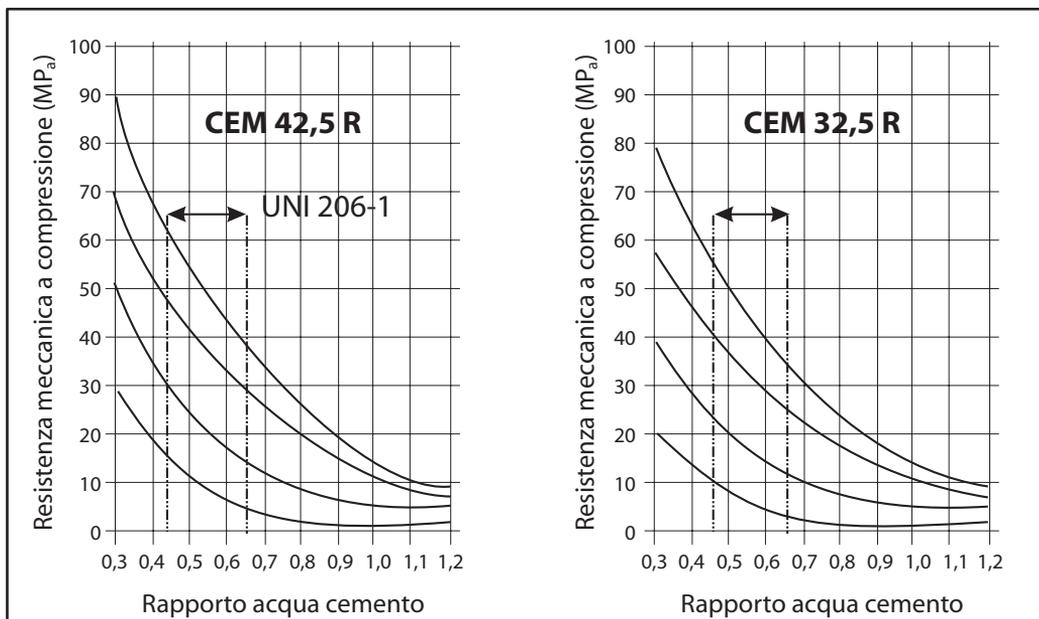
In generale, è proibita qualsiasi aggiunta d'acqua in cantiere.

Le aggiunte di acqua in cantiere oltre al consentito possono ridurre la resistenza meccanica del calcestruzzo.

Però le aggiunte di acqua in cantiere possono avvenire per un solo e unico motivo: il calcestruzzo non dispone della classe di consistenza necessaria alla posa e alla manipolazione in opera. Comunque la norma prevede l'aggiunta di una modesta quantità d'acqua, nel caso in cui la consistenza risultasse inferiore del valore massimo richiesto, per riportare la consistenza al valore di specifica e purché non ne siano superati i valori.

Nel caso fosse aggiunta una quantità d'acqua maggiore di quanto permesso dalla specifica, sul DDT deve essere registrato il quantitativo aggiunto, e chi ha autorizzato tale aggiunta è responsabile delle conseguenze. In questo caso il responsabile dell'autorizzazione è chi ha ordinato il calcestruzzo con una consistenza non adeguata per costruire un pavimento.

Però aggiungendo l'acqua, anche se in quantità modeste, sarà necessario e indispensabile migliorare i tempi e i metodi di stagionatura (almeno 15 giorni di stagionatura



La resistenza del pavimento non dipende esclusivamente dall'aggiunta d'acqua. Anche la presenza più o meno importante di micro e macrovuoti nello spessore del pavimento ha la sua influenza. Infatti minore è la classe di consistenza o *slump*, maggiore dovrà essere l'azione vibrante per costipare a rifiuto il calcestruzzo fresco posto in opera. Esistono in commercio delle staggie vibranti che riescono a raggiungere una profondità vibrante di 3-4 cm senza sprofondare, ma richiedono in ogni modo un calcestruzzo ragionevolmente consistente quale per esempio, un S4 basso.



Il calcestruzzo raffigurato nella foto a sinistra doveva avere consistenza S4 (sino a 200 mm). La consistenza invece è risultata di 60 mm ovvero un S2 basso. La foto venne eseguita per la necessità di dover documentare che un S2 non è un buon materiale da porre in opera poiché richiede una lunga azione vibrante (foto a destra: una staggia vibrante). Il cubetto infatti, nonostante sia stato confezionato così come la norma richiede, presenta un numero notevole di macrovuoti che di certo non conferiscono resistenza al pavimento.

protetta con foglio di polietilene). Sappia il lettore che 1 m³ di calcestruzzo Rck 25 MPa, viene confezionato con circa 180 l di acqua per un rapporto A/C 0,65.

La norma UNI EN 206-1 prevede rapporti A/C variabili, a seconda della resistenza e classe d'esposizione, tra 0,65 e 0,45. Così nella realtà i grafici della pagina precedente devono essere interpretati tra questi due valori.

3.4 La classe di esposizione

La classe d'esposizione è l'indicazione necessaria e indispensabile, per far sì che nella produzione del calcestruzzo fresco di ordinario impiego, siano adottate quelle proprietà per rendere l'elemento durabile nel tempo. Il termine ambiente indica le condizioni chimiche e fisiche alle quali l'elemento di calcestruzzo sarà esposto.

La definizione è valida solo per i pavimenti esposti all'esterno. Ma per i pavimenti all'interno di un qualsiasi opificio, la classe d'esposizione, non trova applicazione se non per l'indicazione del corretto rapporto acqua/cemento con cui si vuole costruire il pavimento.

A cosa serve la classe d'esposizione

Per un pavimento, la classe d'esposizione serve a indicare all'impianto il rapporto A/C con cui verrà confezionata la miscela. Il prescrittore dovrà considerare la classe d'esposizione per indicare il rapporto acqua/cemento desiderato con cui verrà fornita la miscela.

Ma, dal punto di vista del fornitore di calcestruzzo, il rapporto A/C regola soprattutto la resistenza a compressione (Rck) della miscela.

Tabella 3.1 Classi d'esposizione, rapporto a/c, resistenza da norma UNI 206-1.

	Pavimenti interni				Esterni in riva al mare			Esterni con gelo/disgelo			
Simbolo CL E	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XF1	XF2	XF3	XF4
a/c max	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45
Resistenza	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37
Richieste	No aggregati reattivi				No aggregati reattivi			No aggregati gelivi			

Il criterio scaturisce dal ragionamento che al diminuire del rapporto A/C, diminuisce il volume dei pori, e di conseguenza diminuisce la permeabilità, mentre aumenta la resistenza meccanica.

Ecco allora che il prescrittore dovrà porre attenzione a non richiedere una Rck 25 MPa in classe d'esposizione XC4 che richiede un rapporto a/c di 0,50, poiché questo rapporto o questa classe d'esposizione che dir si voglia, si ottiene con un Rck 37 MPa. Quindi attenzione a non indicare una classe d'esposizione non in sintonia con la Rck. Le altre classi d'esposizione non vengono indicate, poiché ritenute poco utilizzabili per i pavimenti.

Dunque il progettista prescriverà in capitolato la classe d'esposizione riferendola al rapporto A/C, inserendo nella prescrizione anche quelle richieste particolari riferite alla qualità degli aggregati cui il produttore di calcestruzzo deve attenersi o rinunciare alla fornitura.

Come può essere influenzato il pavimento dalla classe d'esposizione

Ogni fenomeno di deterioramento che si manifesta sulla superficie è la conseguenza dell'incompatibilità tra qualità del calcestruzzo fresco e condizioni d'esposizione del pavimento. Appare dunque evidente che la durabilità del pavimento, potrà essere raggiunta purché il materiale calcestruzzo non venga in qualche modo compromesso. Ordinare un calcestruzzo in classe d'esposizione più restrittiva della classe XC1 (a/c 0,65) significa, per il produttore di calcestruzzo, consegnare impasti meglio selezionati per costruire il pavimento con le caratteristiche di durabilità previste dal progettista/prescrittore.

Pertanto la classe d'esposizione o il rapporto A/C può subire alterazioni solo aggiungendo in cantiere, con le più svariate argomentazioni, acqua oltre un certo limite.

3.5 La classe e il tipo di cemento

Nel suo più ampio significato il termine "cemento" indica un materiale dotato di proprietà adesive e coesive, capace di legare tra di loro frammenti minerali o rocciosi in un'unica massa compatta. Questa definizione racchiude una grande varietà di materiali leganti, prodotti secondo il D.M. 13 settembre 1993 con i requisiti meccanici, fisici e chimici definiti dalla norma UNI EN 197.

A cosa serve prescrivere classe e tipo di cemento

Il cemento come resistenza e come composizione chimica deve essere idoneo per il pavimento nel quale viene impiegato. La classe di resistenza del cemento indica la resistenza meccanica raggiunta a 28 giorni, ma anche la resistenza iniziale a 2 giorni.

Così le *classi di resistenza* dei cementi reperibili alle centrali di betonaggio possono essere:

32,5	resistenza iniziale a 7 giorni	> 16 N/mm ² ;
32,5R	resistenza iniziale a 2 giorni	> 10 N/mm ² ;
42,5	resistenza iniziale a 2 giorni	> 10 N/mm ² ;
42,5R	resistenza iniziale a 2 giorni	> 20 N/mm ² .

Il *tipo di cemento* identifica invece la composizione con cui questo è formato, raggruppandolo in cinque tipologie principali riportate qui di seguito.

Tipo Denominazione di uso comune

- I Cemento Portland (non prodotto in Italia)
- II Cemento modificato (al calcare, alla pozzolana, alle ceneri volanti, allo scisto calcinato, alla microsilice, alla loppa)
- III Cemento d’altoforno (a rapido indurimento)
- IV Cemento pozzolanico (a basso calore di idratazione)
- V Cemento composito (resistente ai solfati)

Ciascuno di questi tipi è ulteriormente suddiviso per limiti di composizione e per costituenti diversi e viene caratterizzato con delle lettere.

Per il prescrittore, la classe di resistenza indica la velocità di presa e la resistenza a 2 giorni della matrice cementizia (non del calcestruzzo), mentre il tipo indica la composizione del legante e le aggiunte con loro percentuali e, di conseguenza, il comportamento in fase d’indurimento della matrice cementizia.

La scelta sul “tipo” di cemento dipende dal pavimento che stiamo progettando, ma la scelta sul tipo è fortemente condizionata dal cemento di cui dispone l’impianto. Ciò risponde al vero, a meno che il quantitativo della fornitura sia tale da rendere fattibile l’approvvigionamento di un qualche cemento particolare (come per esempio, a basso calore di idratazione).

Per quanto concerne invece la “classe”, normalmente gli impianti dispongono della classe 32,5 e 42,5. La scelta per la classe dipende dalla situazione climatica e dalla resistenza che si vuole ottenere dal calcestruzzo.

Stabilire a priori la resistenza e la composizione del cemento è importante per indicare l’inizio della presa, la fine presa, e la fase d’indurimento. Appunto la fase d’indurimento è la più delicata per il pavimento. Nessuno può calpestare la superficie per un periodo di 4-5 ore dalla fine del getto, per cui il pavimento resta in balia della situazione climatica che può interferire negativamente sulla qualità finale. Ovvero è assolutamente indispensabile fare attenzione all’innalzamento della temperatura all’interno del pavimento durante i primi giorni. Così come si deve fare assolutamente attenzione alle giornate ventose o aree in cui nel pomeriggio si leva la brezza.

Il calcestruzzo produce calore in modo naturale e, con clima caldo, secco e ventilato sarà indispensabile prendere qualche provvedimento come viene indicato nei rispettivi capitoli.

Alcuni tipi di cemento prevalentemente alcalino (con sodio e potassio) sono inoltre incompatibili con certi aggregati anche potenzialmente reattivi. Questa informazione si rende sempre obbligatoria all’impianto di betonaggio, poiché impiegare aggregati reattivi con cemento alcalino, rischia di provocare la reazione alcali-aggregati. Per cui sarà opportuno più che prescrivere l’impiego di un cemento povero in alcali, prescri-

vere un calcestruzzo privo di aggregati reattivi o che vengano impiegate miscele che annullino la reazione alcali aggregati.

Come si indica la classe e il tipo di cemento

Prescrivere a priori classe e tipo di cemento per un pavimento che verrà costruito non si sa in quale periodo, e neppure si conosce quale impianto fornirà il calcestruzzo, potrebbe essere controproducente. Nel caso invece si debba costruire a breve e si vuole comunque indicare tipo e classe del cemento, si procederà indicando le sigle, per esempio, Tipo CEM IIAL classe 42,5R che significano: cemento Portland al calcare, classe 42,5 MPa con resistenza a 2 giorni di 20 N/mm².

La quantità di cemento impiegato nella composizione delle miscele, non deve essere indicata dal prescrittore, poiché l'impianto è garante per la sola resistenza meccanica e il dosaggio di cemento sarà quello minimo necessario per garantire la resistenza richiesta.

Il criterio sulla resistenza di progetto è valido per evidenti motivi economici, ma per i pavimenti interessa il quantitativo di cemento che compone 1 m³. Infatti prima che fosse adottata la resistenza caratteristica, tutti i pavimenti venivano costruiti in tutta Europa e in Italia con calcestruzzi dosati almeno con 350 kg di cemento al metro cubo e con ottimi risultati. Oggi un calcestruzzo Rck 25 dispone di non oltre 280 kg di cemento e le statistiche sulle prestazioni di questi pavimenti non sono per nulla confortanti. La mia opinione sui disastri visti e trattati in questi ultimi 20 anni punta il dito sull'insufficiente progettazione e sul calcestruzzo confezionato con un dosaggio insufficiente di cemento.

Come può essere influenzata la proprietà legante del cemento

Supponiamo che l'impresa ordini all'impianto un calcestruzzo "Rck 25; Dmax 31 mm; consistenza S3; CL E XC1"; l'impresa ordina una consistenza S3 poiché ha un costo inferiore dell'S4 e dell'S5.

L'impianto fornirà una miscela con un rapporto A/C = 0,65 e a consistenza S3. Ma nessun pavimentista riuscirà a stendere manualmente un calcestruzzo a consistenza S3, per cui sarà indispensabile un'aggiunta di acqua. A seconda del clima saranno necessari forse dai 15 ai 20 kg di acqua per migliorare la consistenza di quel calcestruzzo per renderlo lavorabile. Questa operazione altera il rapporto A/C da 0,65 a 0,70-0,72, il che comporta per il calcestruzzo una riduzione del potere legante della matrice cementizia, una minore resistenza, maggiori ritiri, e maggiore quantità d'acqua affiorata con conseguente maggiore porosità.

Quindi, in questo caso, la responsabilità sugli eventuali degradi dovrebbe ricadere su chi ha richiesto/ordinato una consistenza non idonea, dando maggiore priorità all'aspetto economico e ignorando il risultato qualitativo che poteva facilmente ricadere su qualcun altro.

Abbiamo quindi rapidamente compreso che non esiste “il calcestruzzo,” ma diverse miscele, la cui composizione deve essere progettata in funzione delle prestazioni attese e della situazione climatica che deve essere valutata attentamente.

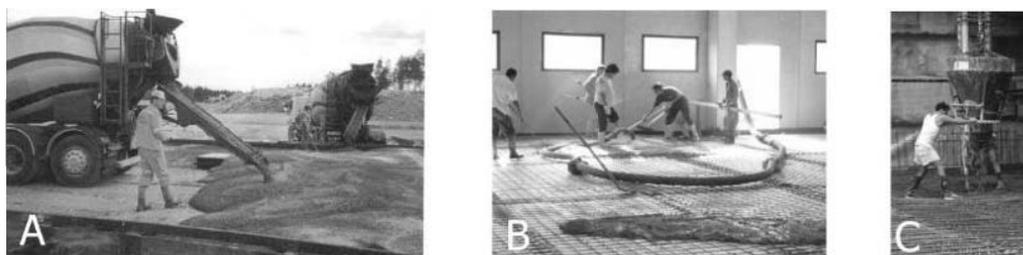
3.6 Come prescrivere la manipolazione in opera

Il capitolo tratta quei presidi che devono essere previsti dal progettista e quindi prescritti in capitolato per essere quotati dall'impresa e adottati dall'impresa, in cantiere, per prevenire degradi sulla superficie del pavimento.

Abbiamo già considerato l'importanza della classe di consistenza che riduca/elimini le operazioni di compattazione (S4 per stesura con *laser screed* e S5 per stesura manuale) e di un calcestruzzo fresco che non segreghi. Ciò nonostante sarà opportuno prescrivere la necessità di compattare determinate zone.

Ma la manipolazione in opera del calcestruzzo, oltre che considerare il metodo di fornitura a piè d'opera delle miscele, deve prevedere anche la situazione climatica al momento del getto, che potrebbe cogliere impreparati impresa e pavimentista. Pertanto il capitolo tratterà quei presidi da prescrivere in capitolato, affinché vengano quotati e adottati in caso di necessità. Per quanto invece concerne il metodo di fornitura a piè d'opera, la responsabilità di una miscela non segregabile deve essere demandata all'impianto.

La prescrizione di questi presidi può anche intendersi come una manleva per il progettista/prescrittore.



Tre metodi di scarico a piè d'opera del calcestruzzo fresco. Foto A: scarico diretto. Foto B: scarico a mezzo pompa e linea tubi. Foto C: scarico con benna.

La compattazione in opera del calcestruzzo

La compattazione è quell'azione meccanica o quella serie di precauzioni da adottare per congiungere più strettamente tra loro gli aggregati, e questa operazione deve avvenire a calcestruzzo fresco ovvero prima che il cemento inizi la presa.

La compattazione in opera del calcestruzzo per pavimenti diviene indispensabile allorché viene fornita una consistenza S3 (anche se la consistenza S3 non può essere posta in opera senza difficoltà oggettive).

Il calcestruzzo in classe S3 risulta poco lavorabile, mentre il pavimento, deve essere costruito con calcestruzzo ben unito e coerente nella sua composizione. Ma esistono aree in cui la vibrazione dovrebbe essere obbligatoria. La vibrazione con ago vibrante deve avvenire laddove esistono inserti, lungo i casseri a contenimento del getto, le canaline di raccolta delle acque, e le guide dei portoni ovvero in quelle aree di confine con altri elementi che devono essere perfettamente avvolti dal calcestruzzo. E spiego il perché.

Gli aggregati più grossi che vengono a contatto con casseri o "pareti" degli elementi in elevazione hanno il loro centro che può avvicinarsi alle "pareti" sino a una distanza pari al raggio medio. Quindi in queste zone restano dei vuoti che devono essere riempiti con grani più piccoli e ciò può essere possibile solo vibrando il calcestruzzo attorno a queste zone.

L'effetto parete si verifica anche lungo le armature e in particolare attorno alle sovrapposizioni.

Perché e come prescrivere la compattazione in opera

La compattazione in opera del calcestruzzo fresco deve avvenire su tutta la superficie per le classi di consistenza S3 e S4 (forte compattazione e semplice compattazione mediante staggia vibrante), mentre per la consistenza S5 sarà sufficiente vibrare lungo gli inserti e i casseri, per evitare o ridurre l'effetto parete.

Nel caso di miscele soggette a segregazione come per esempio, i getti con benna, i getti con dumper, o i getti con molto ferro d'armatura, la vibrazione non servirà a riportare l'assortimento granulometrico allo stato ideale per lo spessore del pavimento. Sarà meglio interpellare immediatamente l'impianto, poiché qualcosa non funziona nella miscela.

La vibrazione del calcestruzzo fresco con un ago vibrante lungo gli inserti e i giunti di costruzione deve essere prescritta in capitolato poiché comporta un maggior magistero, ovvero un maggior onere economico.

