

Sulla segregazione delle miscele incoerenti e dei calcestruzzi

L'A. propone una definizione generale dello stato di segregazione di una miscela incoerente. Passa quindi allo studio dei fenomeni di segregazione dei calcestruzzi pervenendo alla proposta di definizioni particolari e di procedimenti di misura ad essi applicabili

1) PREMESSE

L'ultimo trentennio del secolo scorso vide affermarsi ed assumere rapidamente importanza pratica notevole un materiale da costruzione nuovo sotto molti aspetti: il conglomerato cementizio.

Da allora si cominciò a fare luce da parte di numerosi ricercatori sulle complesse proprietà fisiche e meccaniche di questo materiale allo stato fresco e indurito ed a studiare l'influenza su tali proprietà dei tre componenti fondamentali: il cemento, gli inerti, l'acqua. Presto si mise in evidenza l'importanza della composizione granulometrica dei calcestruzzi come è testimoniato dai primi studi del De Préau (1881) ⁽¹⁾ del Durand-Claye (1888), dell'Alexandre (1890). Ad essi seguirono a partire dal 1892 quelli fondamentali di R. Feret, e da allora questo capitolo della letteratura tecnica andò arricchendosi di qualche centinaio di pubblicazioni a carattere teorico e sperimentale; a questi studi contribuirono ricercatori ben noti quali: Fuller e Thompson, Abrams, Bolomey, Dutron, Graf, Imbrechts, Walsh, Probst, Leclerc du Sablon, Caquot, Faury, Ariano, Villey, Valette. Tale complesso di lavori, di cui alcuni di questi ultimi anni, la stessa vivacità della « querelle » oggi in corso tra sostenitori delle granulometrie continue e discontinue stanno a dimostrare l'importanza della composizione granulometrica dei calcestruzzi, importanza che non si può disconoscere: evidente da un punto di vista teorico, validamente confermata dalle esperienze di laboratorio.

Ma, a porre dei limiti agli effettivi benefici ri-traibili in pratica dalla adozione di composizioni accuratamente studiate secondo procedimenti ormai classici, intervengono fenomeni di varia natura che di frequente si verificano nei cantieri e si possono per lo più ricondurre alla tendenza che il calcestruzzo manifesta a perdere la sua primitiva omogeneità nel susseguirsi delle operazioni di messa in opera, dalla betoniera al luogo di utilizzazione definitivo.

Ammettiamo pure, e non è piccola ammissione, che la betoniera assicuri una miscela perfettamente omogenea, cioè tale che, suddiviso il volume complessivo di calcestruzzo ottenibile con una sola operazione di rimescolamento in tanti volumi parziali, ciascuno dei quali pari per esempio a qualche centinaio di volte il volume degli inerti di massima di-

mensione, tutti i predetti volumi parziali presentino un'identica composizione ⁽²⁾.

L'atto stesso dello sversamento del calcestruzzo dalla betoniera nel recipiente destinato al trasporto sul luogo di utilizzazione, può determinare l'intervento di una certa eterogeneità iniziale. Durante l'operazione di trasporto, nello sversamento del calcestruzzo nelle casseforme, e successivamente nella stessa operazione di costipamento del calcestruzzo possono intervenire ulteriori cause di eterogeneità, di modo che nel suo stato finale e definitivo la composizione del calcestruzzo potrà risultare, in molte zone della struttura realizzata, notevolmente diversa da quella iniziale, relativa al calcestruzzo omogeneo, e di conseguenza errata per il fatto stesso che la composizione iniziale era corretta. Così ad esempio calcestruzzi a percentuale minima di elementi fini (coi quali, come è noto, è possibile realizzare le massime resistenze unitarie alla compressione), perduta la loro omogeneità iniziale, potranno presentare facilmente delle zone a grande porosità e limitata resistenza (nidi di ghiaia) per deficienza dei materiali granulometricamente più minuti.

La gravità di questi fenomeni è particolarmente sentita in quelle strutture dotate di modeste dimensioni trasversali (travi, pilastri ecc), nelle quali una sezione resistente può essere interessata da una frazione soltanto del getto realizzato con un'unica operazione di sversamento nel cassero. In tal caso può essere la resistenza minima della massa eterogenea di calcestruzzo a definire le possibilità statiche di una struttura che verrebbe ad essere compromessa dalla esistenza anche di una, sola sezione a resistenza deficiente.

Come la definizione, sia pure empirica, di un indice di lavorabilità di un calcestruzzo e la sua misura, realizzabile con particolari attrezzature sperimentali, hanno a suo tempo permesso la determinazione di composizioni particolarmente vantaggiose, dal punto di vista delle proprietà meccaniche richieste a un calcestruzzo fresco, così riteniamo che la formulazione di una definizione, dotata di preciso significato fisico, e la misura della tendenza a segregarsi di un calcestruzzo, realizzando un ulteriore passo innanzi nella conoscenza delle pro-

⁽¹⁾ DE PRÉAUDEAU, *Note sur quelques expériences relatives au dosage des mortiers et bétons* - Annales des Ponts et Chaussées - II° semestre, pag. 393-424.

⁽²⁾ Questa precisazione volumetrica è giustificata dal fatto che quando si parla di omogeneità di una miscela ci si deve evidentemente riferire al confronto tra volumi parziali sufficientemente piccoli rispetto al volume complessivo della miscela, ma abbastanza grandi rispetto al volume dei costituenti elementari di massime dimensioni.

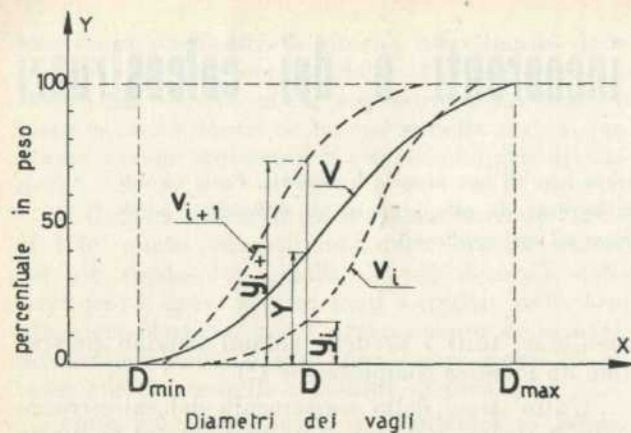


Fig. 1 - Diagramma granulometrico di una miscela V e di due sue frazioni segregate v_i e v_{i+1} .

prietà fisico-meccaniche di questo materiale, permettano di valutare più efficacemente quali siano le composizioni di maggior interesse, ove si metta in conto anche questo fenomeno.

In effetti spesso sarà più conveniente valersi di composizioni tali che in condizioni di perfetta omogeneità diano resistenze meccaniche meno elevate, ma che per la loro minore tendenza a segregarsi assicurino più costanti caratteristiche del prodotto finale.

Considerazioni di questo genere mi avevano indotto in un precedente studio sulle proprietà dei calcestruzzi freschi ⁽³⁾ a definire ed a studiare un particolare tipo di segregazione, che avevo denominata segregazione per sedimentazione forzata, ed a proporre alcuni procedimenti di misura.

Il presente studio ha lo scopo di trattare in forma più generale l'argomento della segregazione delle miscele incoerenti e dei calcestruzzi nei suoi vari aspetti.

2) DEFINIZIONE DELLO STATO DI SEGREGAZIONE DI UNA MISCELA

Prendiamo in considerazione una miscela di particelle solide di eguale natura ma di volume diverso. Possiamo allora assumere quale unico parametro differenziatore di queste particelle una loro dimensione lineare caratteristica, per esempio, come di solito si procede negli studi granulometrici, il diametro dei fori circolari che consentono il passaggio delle particelle stesse.

All'intera miscela competerà un certo diagramma granulometrico che potrà essere espresso valendosi di un piano cartesiano dove in ascisse siano riportate le dimensioni lineari caratteristiche delle particelle, valutate come sopra si è detto (diametro dei fori circolari che ne consentano il passaggio) e in ordinate le percentuali in peso od in volume assoluto delle particelle passanti (fig. 1).

⁽³⁾ G. TOURNON, *Recherches expérimentales sur la mécanique interne et sur la vibration du béton frais* - Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics - Paris - Février 1948.

Immaginiamo che il volume assoluto V complessivo della miscela sia molto grande rispetto al volume delle singole particelle solide di dimensioni massime e frazioniamo l'intera miscela in un certo numero n di volumi assoluti v, non necessariamente eguali tra di loro, ma tutti ancora abbastanza grandi rispetto al volume delle singole particelle solide di massime dimensioni. Se la miscela è omogenea il diagramma granulometrico che compete a ciascuno degli n volumi v coinciderà evidentemente col diagramma granulometrico dell'intera miscela di volume V.

Nel caso invece che la miscela presenti un certo stato di segregazione a ciascun volume v potrà competere un diagramma granulometrico diverso, per esempio del tipo di quelli indicati in fig. 1 con le lettere v_i e v_{i+1} , relativi ai volumi elementari i-esimo ed i+1-esimo degli n volumi in cui è stata divisa la miscela di volume V.

Se per un certo valore D della dimensione assunta a misura delle particelle indichiamo con Y l'ordinata relativa al diagramma V e con y_i , y_{i+1} le ordinate relative ai diagrammi v_i , v_{i+1} , proponiamo di assumere ad indice S_m dello stato di segregazione della miscela l'espressione adimensionale:

$$S_m = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{v_i}{V} \int_{x=D_{\min}}^{x=D_{\max}} |Y - y_i| dx}{D_{\max} - D_{\min}} \quad (1)$$

che può essere intesa come scostamento medio complessivo di tutti i diagrammi v_i dal diagramma V, infatti in questa espressione $|Y - y_i|$ sta ad indicare in valore assoluto la differenza tra le ordinate dei diagrammi relativi a V ed a v_i per un valore qualsiasi della dimensione lineare caratteristica D, variabile dal valore minimo D_{\min} al valore massimo D_{\max} che competono alla miscela in istudio.

Ove sia esattamente definito in tutte le sue caratteristiche il processo che ha determinato in una miscela, originariamente omogenea, un certo grado di segregazione, l'indice dello stato di segregazione (1) sopra definito può essere assunto a misura della più o meno grande tendenza a segregarsi che chiameremo segregabilità della miscela sottoposta a quel determinato processo.

È evidente che, a causa della essenza stessa del fenomeno di cui è presa a misura, l'espressione (1) sopra proposta non rappresenta un valore assoluto, nel senso che il suo valore potrà variare con le dimensioni e con le forme dei volumi parziali v, in cui il volume V da analizzare viene suddiviso.

Ciò implica la necessità, affinché gli indici di segregabilità, così come definiti dalla (1), acquistino un sicuro valore comparativo, che siano esattamente definite le modalità di suddivisione del volume V per ogni tipo di processo sperimentale di segregazione adottato.

3) DEFINIZIONE DELLO STATO DI SEGREGAZIONE DI UN CALCESTRUZZO

L'espressione (1), assunta ad indice dello stato di segregazione di una miscela di particelle solide di diverse dimensioni ma di eguale natura, risulta evidentemente insufficiente a rappresentare lo stato di segregazione di un calcestruzzo, cioè di una miscela composta, oltre che da inerti di varie dimensioni, anche da materiali di diversa natura quali il cemento e l'acqua.

Nel caso dei calcestruzzi sarà pertanto necessario, per esprimerne lo stato di segregazione, associare ad un'espressione del tipo della (1), atta a rappresentare lo stato di segregazione degli inerti, due altre espressioni che stiano ad indicare le variazioni locali di dosaggio d'acqua e di cemento intervenute a seguito della segregazione.

Prevediamo di operare sui calcestruzzi in modo analogo a quello precedentemente descritto per una miscela di particelle solide di eguale natura. Sia V il volume assoluto di calcestruzzo preso in esame, indichiamo con Y l'ordinata generica del diagramma granulometrico degli inerti di dimensioni lineari caratteristiche D comprese tra D_{\min} e D_{\max} presenti nel volume V, con a il dosaggio d'acqua d'impasto e con c il dosaggio di cemento del calcestruzzo in esame.

Supponiamo ora di suddividere il volume V in n volumi assoluti v, non necessariamente eguali tra di loro, ma ancora abbastanza piccoli rispetto al volume complessivo V ed abbastanza grandi rispetto al volume dei singoli inerti di massime dimensioni, indichiamo con y_i l'ordinata generica del diagramma granulometrico degli inerti presenti nel volume parziale assoluto v_i , ed analogamente con a_i e con c_i il dosaggio d'acqua ed il dosaggio di cemento sempre relativi al volume v_i . Si potranno assumere ad indici S_i dello stato di segregazione degli inerti, S_c dello stato di segregazione del cemento, S_a dello stato di segregazione dell'acqua, le seguenti espressioni adimensionali:

$$\begin{aligned} S_i &= \frac{\sum_{i=1}^n \frac{v_i}{V} \int_{x=D_{\min}}^{x=D_{\max}} |Y - y_i| dx}{D_{\max} - D_{\min}} \\ S_c &= \frac{\sum_{i=1}^n \frac{v_i}{V} |c - c_i|}{c} \\ S_a &= \frac{\sum_{i=1}^n \frac{v_i}{V} |a - a_i|}{a} \end{aligned} \quad (2)$$

dove le differenze $y - y_i$, $a - a_i$, $c - c_i$ dovranno sempre comparire nel loro valore assoluto.

Onde disporre, a scopo comparativo, di un unico valore a misura dello stato di segregazione globale di un calcestruzzo, si potrà convenire di assumere quale indice globale S del suo stato di

segregazione una certa funzione per esempio del tipo:

$$S = k_1 S_i + k_2 S_a + k_3 S_c \quad (3)$$

dei tre indici di segregazione elementari S_i , S_a ed S_c relativi agli inerti, all'acqua, ed al cemento.

Nella espressione (3) sopra proposta k_1 , k_2 e k_3 sono tre costanti che dovranno essere fissate in modo che l'influenza relativa dei singoli indici di segregazione S_i , S_a , ed S_c sul valore dell'indice globale S sia quello che più si addice al tipo ed allo scopo delle misure da effettuarsi.

Naturalmente vale ancora nei confronti delle espressioni (2) e (3) l'osservazione fatta a proposito della espressione (1), cioè occorrerà che siano esattamente definite le modalità di suddivisione del volume V per ogni processo sperimentale di segregazione adottato, affinché le suddette espressioni, considerate come indici di segregabilità di un calcestruzzo, sottoposto ad un particolare processo di segregazione, acquistino un sicuro valore comparativo.

La determinazione dello stato di segregazione di un conglomerato cementizio fresco comporterà dunque praticamente l'analisi dei vari elementi di volume in cui è stata suddivisa l'intera miscela in istudio e l'elaborazione dei risultati di queste analisi, secondo le espressioni (2) o (3).

L'analisi di calcestruzzi freschi, allo scopo di determinarne la composizione granulometrica nonché le quantità di cemento e di acqua in essi contenute, è facilmente realizzabile con un'apparecchiatura assai semplice. I primi metodi veramente pratici sono stati proposti sin dal 1929 dal Dunagan, dal Griesenauer, dal Bertin, dal Freel e recentemente perfezionati dal Joisel ⁽⁴⁾.

Il procedimento per la valutazione dello stato di segregazione di un calcestruzzo qui proposto è del tutto generale e può essere utilizzato in ogni caso e per qualsiasi tipo di segregazione. Tale procedimento presenta per altro l'inconveniente di essere assai laborioso, infatti ogni singola operazione di analisi richiede un tempo di 15÷20 minuti, ed alquanto fastidiosa è l'elaborazione dei risultati delle analisi stesse per giungere alla determinazione degli indici di segregazione secondo le (2) o la (3). Di qui l'opportunità, nella valutazione dell'indice di segregazione di un calcestruzzo, di attenersi, in determinati casi, a metodi più rapidi, se pur meno generali, e particolari al tipo di segregazione in istudio.

⁽⁴⁾ W. M. DUNACAN, *A method of determining the constituents of fresh concrete* - Proceedings American Concrete Institute - vol. 26, 1930. — R. L. BERTIN, C. A. HUGUES, H. C. ROSS, G. J. GRIESENAUER, W. I. FREEL, *Discussion of a method of determining the constituents of fresh concrete* - Proceedings American Concrete Institute - vol. 26, 1930, pag. 670. — ALBERT JOISEL, *L'homogénéité du béton et les bétonnières* - Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics - n. 69, Mars-Avril 1949.

4) TIPI DIVERSI DI SEGREGAZIONE NEI CALCESTRUZZI

I fenomeni di segregazione che più comunemente si riscontrano sui cantieri possono essere ricondotti essenzialmente a due tipi chiaramente individuabili che chiameremo di *segregazione per caduta* e di *segregazione per sedimentazione*.

a) Segregazione per caduta libera nell'aria.

Facendo cadere da una certa altezza un ammasso di calcestruzzo fresco l'azione dinamica dell'aria diversa da punto a punto della superficie del calcestruzzo tende anzitutto a disgregarlo. Questa disgregazione è tanto più rapida e completa quanto minori sono i valori della resistenza al taglio (a compressione apparente normale nulla) e della resistenza alla trazione del calcestruzzo fresco, variabili in realtà entro limiti molto ampi in funzione delle caratteristiche del calcestruzzo e specificamente della composizione granulometrica, del dosaggio, e della quantità d'acqua d'impasto.

Si può considerare che, sempre restando nel campo dei calcestruzzi di impiego corrente, con dosaggio dell'ordine di 300 Kg/m³ di cemento, la resistenza al taglio e la resistenza alla trazione oscillino da valori minimi di 15 gr/cm² a valori massimi di 150 gr/cm². Queste caratteristiche meccaniche dei calcestruzzi freschi sono particolarmente sensibili alle variazioni della quantità d'acqua di impasto, in quanto una frazione soltanto dei loro valori è dovuta alla mutua attrazione molecolare dei componenti dell'impasto, mentre l'altra frazione è dovuta ad un effetto di compressione esercitata sulle particelle solide dall'acqua in stato di tensione presente nei meati capillari del calcestruzzo. L'effetto di dette tensioni di capillarità sembra assumere per un calcestruzzo normale, dosato a 300 Kg/m³, il suo valore massimo per quantità d'acqua del 16÷17 % del volume totale, e decresce rapidamente per maggiori quantitativi di acqua.

Ciò spiega la ragione per cui, sottoponendo dei calcestruzzi a cadute libere di modesta entità, essi non presentano quasi fenomeni di disgregazione e possono raggiungere il suolo in massa compatta nel caso che si tratti di calcestruzzi aventi una quantità di acqua d'impasto tale da determinare un importante effetto globale delle tensioni di capillarità, e di conseguenza elevati valori delle predette resistenze meccaniche. Basta invece aumentare la quantità di acqua d'impasto portandola, per i calcestruzzi sopra menzionati con dosaggi dell'ordine di 300 Kg/m³, dal 16÷17% anche solo a valori del 20÷22 % perchè il calcestruzzo, sottoposto alle stesse cadute, tenda chiaramente a disgregarsi.

Oltre una certa altezza di caduta anche i calcestruzzi dotati di resistenze meccaniche relativamente elevate, cominciano a disgregarsi in frazioni, che tendono a loro volta a suddividersi in altre ed altre ancora, prima di giungere in sito.

A questo punto soltanto, dopo che si è verificata la prima disgregazione dell'ammasso di calcestruzzo per effetto dell'azione dinamica dell'aria, si manifesta il vero e proprio fenomeno di segregazione per caduta libera.

Infatti a partire da questo momento il calcestruzzo non cade più in massa compatta, bensì frazionato in tanti elementi di grandezza e di forma diversa. La caduta di questi elementi nell'aria, considerati come isolati, rientra in quei tipi di moto di corpi nei fluidi per cui la resistenza R opposta dal fluido in gioco può essere espressa a mezzo della formula di Newton:

$$R = Q \cdot \frac{\pi}{2} \cdot m' \cdot r^2 \cdot u^2$$

dove Q è un coefficiente numerico, detto coefficiente di resistenza, o coefficiente di forma della particella in esame.

m' è la massa specifica del fluido.

r è il raggio di una sfera avente eguale volume della particella in esame.

u è la velocità della particella relativa al fluido.

La velocità massima u_{max} di regime che le particelle possono raggiungere risulta espressa dalla relazione:

$$u_{max} = \sqrt{\frac{8}{3Q} \cdot g \cdot \frac{m - m'}{m'} \cdot r}$$

dove g è l'accelerazione di gravità ed m è la massa specifica della particella in studio, avendo gli altri simboli il significato già preso in esame. Lo spazio percorso dalle particelle in un tempo t risulta espresso da:

$$l = \frac{m^2}{2(m - m')g} \times \ln \frac{2 + e^{\frac{2t(m - m')g}{m u_{max}}} + e^{\frac{2t(m - m')g}{m u_{max}}}}{4}$$

Il coefficiente di resistenza Q, che compare nelle espressioni precedenti può variare entro limiti molto ampi essenzialmente in funzione della forma della particella in esame. Detta forma della particella può essere definita dal suo grado di sfericità s, vale a dire dal rapporto tra la superficie di una sfera avente lo stesso volume della particella e la superficie della particella stessa.

Il valore di Q nel caso di una particella sferica (s=1) è dell'ordine di 0,4, e può salire a valori molto elevati dell'ordine di 10 per particelle con gradi di sfericità dell'ordine di 0,20 (5).

(5) Vedasi a questo proposito i risultati delle esperienze del Wadell, e dello Schmiedel. HAKON WADELL, *The coefficient of resistance as a function of Reynolds' number for solids of various shapes* - J. Franklin Inst., 217, 459-490 (1934). — J. SCHMIEDEL, *Experimentelle Untersuchungen über die Fallbewegung und Scheiben in reibenden Flüssigkeiten* - Physik. Z., 29, 593-610 (1928).

Dalle formule sopra riportate risulta chiaramente come durante la caduta tenda a verificarsi una classificazione degli elementi che compongono il calcestruzzo per effetto delle differenze di raggio medio, di coefficiente di resistenza e di massa specifica dei vari elementi in cui il calcestruzzo si disgrega sotto l'azione dinamica dell'aria.

Le formule precedenti interpretano per altro in modo solo sommario il fenomeno di caduta di un certo volume di calcestruzzo nell'aria, in quanto esse si riferiscono al moto di una particella isolata, mentre in realtà ci troviamo di fronte alla dislocazione simultanea di un gran numero di particelle vicine che determina moti nell'aria circostante alle singole particelle con effetti tutt'altro che trascurabili sull'andamento del fenomeno. Pertanto da esse non si può pretendere che un primo orientamento allo studio sperimentale della segregazione per caduta di un calcestruzzo.

Da un punto di vista pratico occorre tener presente che quando l'operazione di sversamento del calcestruzzo dura per un tempo relativamente grande rispetto al tempo che il calcestruzzo impiega a cadere, se il calcestruzzo arriva in posto verticalmente, il pericolo di segregazione si limita per lo più agli strati inferiori (eccesso di ghiaia) e agli strati superiori (eccesso di malta) del getto realizzato. È chiaro infatti che, dopo un breve lasso di tempo dall'inizio del getto, entrato in fenomeno dello sversamento in fase di regime, nel calcestruzzo che arriva in sito si ripristina la primitiva composizione omogenea anche se nel percorso di caduta il calcestruzzo fosse venuto a trovarsi in stato di segregazione.

Nei casi in cui il calcestruzzo arriva in posto verticalmente basterà dunque in pratica correre ai ripari solo per quanto concerne gli strati estremi inferiori e superiori del getto. Per gli strati inferiori si provvede per lo più realizzando il primo impasto particolarmente ricco di cemento o sversando della malta nelle forme prima di iniziare il getto con il calcestruzzo normale. Quest'ultimo procedimento viene adottato abitualmente quando, oltre al pericolo di segregazione per caduta, ci si trova in presenza di un elevato effetto locale di parete, per esempio nella confezione di tubi di calcestruzzo gettati verticalmente (6).

Negli strati estremi superiori gli inconvenienti che derivano dalla segregazione per caduta sono meno gravi dal punto di vista del risultato finale in quanto si realizzano per lo più in essi composizioni con eccesso di cemento.

(6) Si realizza in tal caso sul fondo del tubo uno strato di malta con spessore della metà circa dello spessore della parete del tubo, di modo che, procedendo poi allo sversamento del calcestruzzo normale, gli elementi di ghiaia di maggior dimensioni, che per primi raggiungono il fondo della forma, possano amalgamarsi con la malta già messa in opera, evitando la formazione di uno strato di calcestruzzo molto poroso per deficienza di cemento e di inerti granulometricamente più minuti.

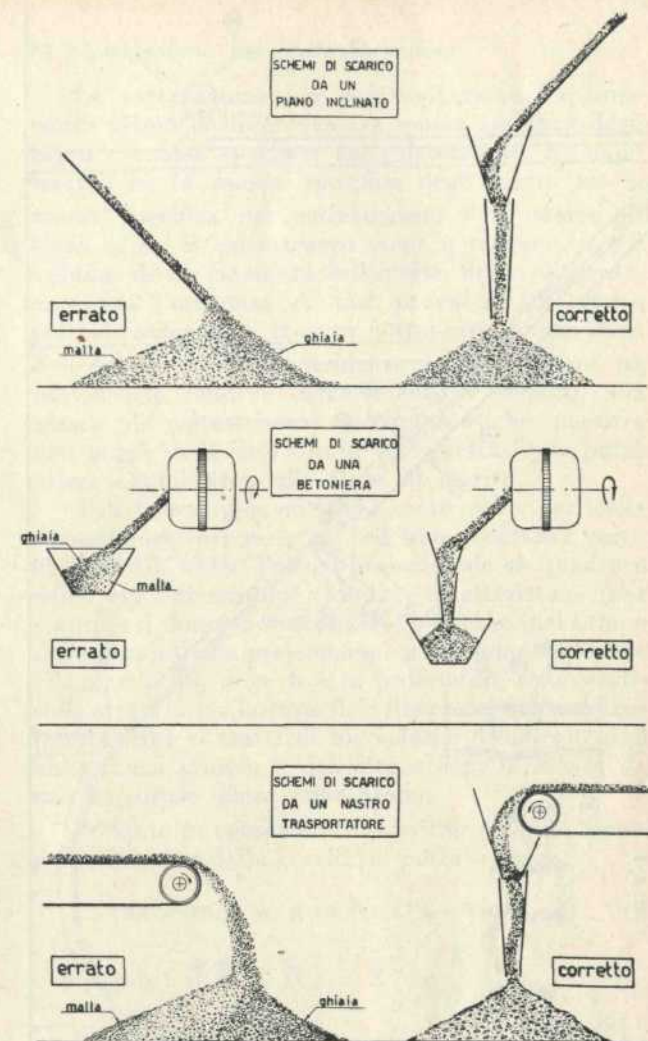


Fig. 2 - Schemi di modalità corrette ed errate di sversamento del calcestruzzo.

Pur tuttavia e specialmente nei casi in cui agli effetti di segregazione per caduta si uniscono quelli di segregazione per sedimentazione forzata, che possono portare gli strati superiori ad arricchirsi in modo eccessivo d'acqua (per esempio in conseguenza di una energica e prolungata vibrazione), conviene talvolta ricorrere all'artificio del getto supplementare. Esso consiste nel realizzare un getto alquanto più alto del necessario e, a costipamento avvenuto del calcestruzzo, nell'allontanare la parte esuberante del getto in modo da scendere con la superficie finita ad un livello al di sotto del quale non sono più da temersi i predetti fenomeni di segregazione (7).

Il fatto sopra messo in evidenza, per cui la segregazione in un calcestruzzo che giunge in sito

(7) Questo provvedimento viene utilizzato specialmente nella fabbricazione in serie di manufatti in calcestruzzo vibrato e particolarmente nei casi in cui i getti presentano un'altezza notevole ed occorre che le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo siano ovunque molto elevate (per esempio nella fabbricazione di tubi in conglomerato cementizio precompresso).

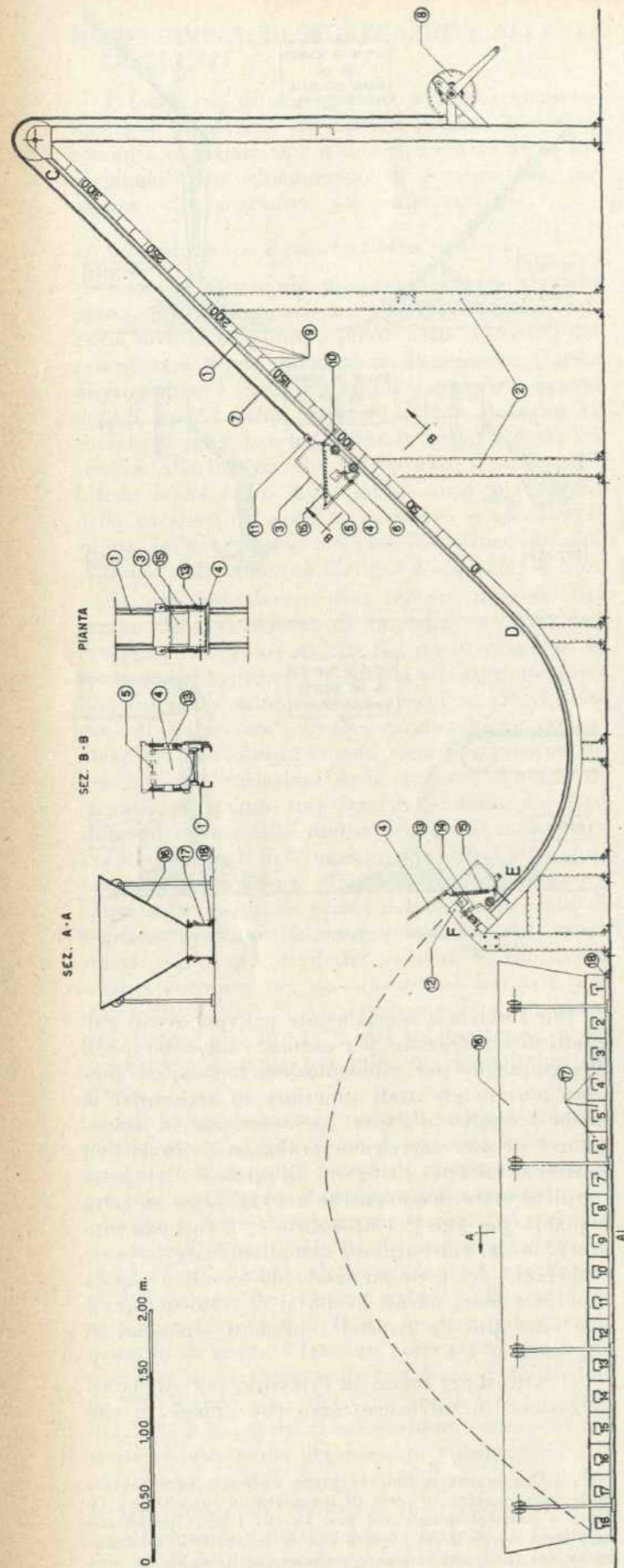


Fig. 3 - Schema di dispositivo sperimentale per la misura della segregabilità per caduta libera.

verticalmente si fa risentire soltanto negli strati estremi inferiori e superiori, lasciando indenni gli strati intermedi, consiglia, in tutte le operazioni di sversamento di calcestruzzo in cantiere, l'adozione di particolari provvedimenti, che per lo più consistono nell'incanalare il calcestruzzo nell'ultimo tratto di caduta entro condotti verticali a sezione leggermente decrescente, destinati appunto a ricomporre il calcestruzzo segregato dalle precedenti fasi di caduta e ad addurlo in sito in condizioni di ripristinata omogeneità.

In fig. 2 riportiamo uno schema delle soluzioni da adottarsi in cantiere per ovviare ai fenomeni di segregazione che si possono verificare nello sversamento di un calcestruzzo da un canale inclinato, da una betoniera e da un nastro trasportatore.

La segregazione si manifesta invece per ovvie ragioni con caratteri di particolare gravità ogni qual volta il calcestruzzo prima di giungere in sito realizza nella sua caduta spostamenti orizzontali considerevoli.

Volendo procedere ad uno studio sperimentale della segregazione per caduta di un calcestruzzo, e in particolare volendo misurare e confrontare la tendenza a segregarsi per caduta di calcestruzzi diversi, converrà operare in modo da sottoporre il calcestruzzo a cadute esattamente determinate in tutte le loro caratteristiche e tali da esaltare al massimo il fenomeno della segregazione, obbligando il calcestruzzo che cade a notevoli percorsi orizzontali.

Questi scopi possono raggiungersi a mezzo di un'apparecchiatura sperimentale di cui diamo in fig. 3 una rappresentazione schematica.

Su due rotaie (1) sorrette da un'impalcatura metallica (2) e disposte secondo due tratti rettilinei CD ed EF tra loro normali, inclinati di 45° sulla orizzontale e raccordati da un ampio arco di cerchio DE, scorre un carrello, solidale con un recipiente atto al contenimento di una quindicina di litri di calcestruzzo. Esso presenta superiormente un'apertura (3) per l'introduzione del calcestruzzo da sottoporre alla prova di segregazione ed è munito anteriormente di uno sportello a ventola (4) ruotante attorno l'asse (5) e chiudibile contro la bocca del recipiente a mezzo di uno speciale gancio (6).

Mediante una funicella di acciaio (7), una carucola di rinvio e un tamburo a manovella (8) provvisto di dispositivo di arresto, il carrello può essere innalzato lungo il piano inclinato DC e fermato ad una altezza qualsiasi leggibile direttamente sulla sottostante scala graduata (9) a mezzo dell'indice (10). Portato il carrello all'altezza voluta, esso può essere sganciato dalla fune valendosi di uno speciale dispositivo (11).

Il carrello scende allora liberamente lungo il piano inclinato EF, risalendo sino in C dove sono disposti due arresti (12) contro i quali vengono ad urtare le ali (13) solidali col recipiente. Poco prima che avvenga l'urto contro gli arresti (12), il carrello trova sulla sua corsa un elemento metallico (14) opportunamente profilato che entra in

contatto con un piolo del gancio (6) provocandone la rotazione e liberando lo sportello (4) che, sotto l'azione di due robuste molle (15), si apre di scatto.

La posizione dell'elemento (14) è stabilita in modo che, anche per le maggiori velocità di arrivo del carrello, lo sportello risulti completamente aperto all'istante dell'urto, sicché il calcestruzzo venga proiettato liberamente nell'aria.

In fig. 3 è stata tracciata a tratteggio la traiettoria teorica (prescindendo dalla resistenza dell'aria e dalle perdite di energia per urto) di una particella isolata che giunga in F con velocità di 4,43 m/sec. pari a quella che competerebbe teoricamente al carrello per una caduta netta di 2 m. di altezza.

Il calcestruzzo proiettato viene raccolto da una tramoggia in lamiera (16) entro una serie di diciotto scatole (17) di 0,25 x 0,25 m. di sezione, allineate lungo la direttrice di lancio e tenute in posto da un profilato (18).

Conoscendo il volume assoluto, la composizione granulometrica ed i dosaggi di cemento e d'acqua del calcestruzzo originario, alla determinazione degli indici di segregazione che competono al calcestruzzo proiettato si procede, secondo le modalità descritte nel paragrafo 3, misurando i volumi assoluti v_i di calcestruzzo raccolti dalle diciotto scatole e procedendo alla determinazione della granulometria degli inerti e dei dosaggi c_i ed a_i di cemento e di acqua relativi a ciascun volume v_i .

Gli indici di segregazione rispettivamente per gli inerti, per il cemento e per l'acqua risulteranno in base alle (2) dalle espressioni:

$$S_i = \frac{\sum_{i=1}^{i=18} \frac{v_i}{V} \int_{x=D_{min}}^{x=D_{max}} |Y - y_i| dx}{D_{max} - D_{min}}$$

$$S_c = \frac{\sum_{i=1}^{i=18} \frac{v_i}{V} |c - c_i|}{c}$$

$$S_a = \frac{\sum_{i=1}^{i=18} \frac{v_i}{V} |a - a_i|}{a}$$

Sottoponendo eguali volumi di calcestruzzo di diverse composizioni a cadute di eguale altezza e procedendo alla determinazione dei relativi indici di segregazione si possono stabilire utili confronti tra le segregabilità per caduta libera dei vari calcestruzzi.

Diventa altresì possibile studiare, attraverso una serie di esperienze in cui si facciano di volta in volta variare i singoli fattori, l'influenza sulla segregabilità per caduta di un calcestruzzo della composizione granulometrica, della quantità d'acqua d'impasto, del dosaggio di cemento e dell'aggiunta di sostanze plastificanti ed aeranti.

b) Segregazione per sedimentazione.

La segregazione per sedimentazione ha come causa prima la differenza tra massa specifica degli inerti e massa specifica del calcestruzzo. Se chiamiamo m_i la massa specifica degli inerti, m_c la massa specifica del calcestruzzo, f il campo di forza in cui il calcestruzzo viene a trovarsi, e v il volume di un elemento dell'inerte, detto elemento, ammessa l'esistenza di una pressione idrostatica nel calcestruzzo, si troverà sottoposto a una forza $F = (m_i - m_c) \cdot v \cdot f$, tendente a determinare un movimento relativo dell'elemento v rispetto alla massa di calcestruzzo; movimento che peraltro non potrà verificarsi sino a che questa forza potrà essere equilibrata dalle forze di attrito.

Tali forze opponentisi al moto della particella danno luogo, per $m_i > m_c$, ad una risultante verticale diretta verso l'alto proporzionale al quadrato della sua dimensione lineare caratteristica (per esempio il diametro medio D_m) oltre che (nel campo della gravità) alla pressione $m_c \cdot g \cdot h$ regnante attorno alla particella, dove h è la profondità della particella stessa sotto la superficie libera del calcestruzzo (sempre che si tratti di un volume di calcestruzzo abbastanza grande e delimitato superiormente da una superficie libera orizzontale).

Pertanto in condizioni di equilibrio limite (sempre nel campo della gravità) si potrà scrivere:

$$(m_i - m_c) \cdot v \cdot g = K \cdot D_m^2 \cdot m_c \cdot h_1 \cdot g$$

$$\text{e ponendo: } v = K' D_m^3; \quad K'' = \frac{K'}{K}$$

$$\text{si ha: } h_1 = K'' \left(\frac{m_i}{m_c} - 1 \right) D_m$$

dove h_1 rappresenta evidentemente la profondità limite oltre la quale le forze di attrito diventano tali da impedire il movimento della particella di diametro medio D_m in seno alla massa di calcestruzzo e K'' è un coefficiente numerico, funzione sia delle caratteristiche di forma e di superficie della particella in esame, sia delle caratteristiche del calcestruzzo, (composizione granulometrica, dosaggio, quantità d'acqua ecc).

Questo spiega come anche in istato di riposo calcestruzzi piuttosto fluidi possano essere soggetti a fenomeni di segregazione in corrispondenza dei loro strati superiori e porta pure a concludere che se si sottoponesse la superficie libera superiore del calcestruzzo ad una pressione idrostatica $p = K'' (m_i - m_c) D_m \cdot g$, dove D_m è il diametro medio delle particelle di dimensioni massime, si potrebbero eliminare completamente i predetti fenomeni di segregazione anche negli strati superficiali del calcestruzzo.

Dove le forze di attrito non sono in grado di equilibrare la forza F , la particella entra in moto dando origine a delle resistenze di natura viscosa crescenti al crescere della velocità della particella ed atte quindi a ristabilire un equilibrio dinamico al raggiungimento della velocità uniforme di affon-

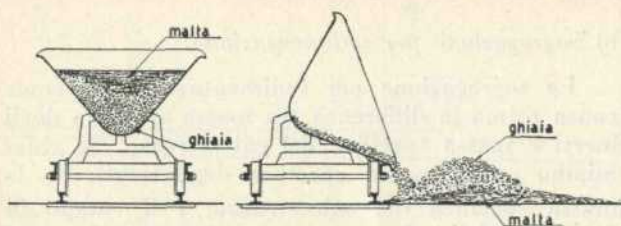


Fig. 4 - Un caso tipico di segregazione del calcestruzzo per sedimentazione forzata: trasporto a mezzo di vagonetti.

damento della particella. Il moto durerà sino a che la particella avrà raggiunto la profondità limite h_1 prima definita ⁽⁸⁾.

Questa interpretazione necessariamente schematica del fenomeno di segregazione, quale può presentarsi in un calcestruzzo in istato di riposo, ha in pratica un interesse relativo, perchè tale tipo di segregazione può determinare inconvenienti di qualche rilievo solo in caso di calcestruzzi molto fluidi, e quindi da rigettarsi per altre ragioni.

Essa completa peraltro il quadro del fenomeno più diffuso e più grave della segregazione per sedimentazione di un calcestruzzo sottoposto a trattamento dinamico e in particolare a trattamento dinamico a carattere alternativo o vibratorio.

Per quanto riguarda lo studio della meccanica interna di un calcestruzzo sottoposto a un trattamento dinamico comportante accelerazioni a carattere alternativo, quali si verificano ad esempio in un moto vibratorio, rimandiamo il lettore alle pubblicazioni specifiche in merito ed in particolare ai risultati delle ricerche teoriche e sperimentali di R. L'Hermite e dello scrivente comparse nel febbraio 1948 sotto il titolo « La vibration du béton frais » negli Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics. Basti qui ricordare come, in base ai risultati di queste ricerche, si possa concludere che il calcestruzzo, sottoposto a trattamento dinamico del tipo sopra menzionato, si comporta come se si determinasse in esso una diminuzione statistica di attrito interno sino a valori estremamente bassi. Questa situazione si realizza per pressioni idrostatiche nel calcestruzzo inferiori a un valore critico, denominato pressione di espansione, che dipende essenzialmente dalle caratteristiche del trattamento dinamico. In queste condizioni il calcestruzzo tende dunque a un comportamento simile a quello di un liquido molto viscoso ⁽⁹⁾.

L'esperienza ha dimostrato che, nel caso di trattamenti dinamici realizzati a mezzo di tavole vibranti di caratteristiche normali (frequenza di 3000

⁽⁸⁾ Questo fenomeno, associato ad un fenomeno di filtrazione dell'acqua verso la superficie libera del calcestruzzo, dà luogo a un particolare tipo di segregazione che viene denominato « bleeding » nella letteratura tecnica inglese e « ressuage » in quella francese.

⁽⁹⁾ Vedasi a questo proposito il capitolo G) « Recherches sur la viscosité des bétons en état de vibration » della pubblicazione citata in nota 3.

giri al min., ampiezza di 1 mm.), la pressione di espansione può variare da 0,5 a 1 Kg/cm², valori che corrispondono ad altezze di calcestruzzo dell'ordine di 2÷4 m. Ciò significa che gli inerti in tali condizioni si muovono verso il basso non soltanto in corrispondenza degli strati superiori, secondo quanto si è visto nel caso di un calcestruzzo in istato di quiete, ma per lo più su tutta l'altezza del calcestruzzo.

La velocità di affondamento degli inerti risulta ora esprimibile mediante la legge di Stokes:

$$\bar{V} = K \frac{r^2}{\eta} (m_i - m_c) g$$

dove K è un coefficiente numerico, η è la viscosità locale del calcestruzzo che dipende dalle caratteristiche del calcestruzzo e dalle caratteristiche del trattamento dinamico, r il raggio medio degli inerti, m_i la loro massa specifica, m_c la massa specifica del calcestruzzo.

Questo tipo di segregazione è stata definita nel mio precedente studio col nome di segregazione per sedimentazione forzata, ed è il tipo di segregazione che si riscontra in forma più o meno grave in tutti quei cantieri dove il calcestruzzo deve realizzare dei percorsi di una certa importanza dal centro di produzione al luogo di impiego. In questi tragitti, qualunque sia il mezzo di trasporto (vagonetti, autocarri, teleferiche, ecc), il calcestruzzo si trova sottoposto ad azioni dinamiche (trepidazioni) più o meno intense che determinano una segregazione talvolta così accentuata da obbligare ad un rimpasto sommario sul luogo di sversamento prima di passare alla messa in opera (v. fig. 4).

Lo stato di segregazione di un calcestruzzo che abbia subito un processo di sedimentazione forzata potrà essere ancora determinato col procedimento generale indicato al paragrafo 3.

Il calcestruzzo segregato dovrà in tal caso essere suddiviso secondo modalità prestabilite in volumi parziali di conveniente grandezza e, in base ai risultati dell'analisi dei singoli volumi parziali, si potrà procedere alla determinazione dei valori degli indici di segregazione S_i , S_a ed S_c secondo le espressioni (2).

Per altro, ai fini pratici, nella valutazione di questo particolare stato di segregazione è possibile una semplificazione notevole, particolarmente interessante ove si tratti di misure di laboratorio a carattere comparativo, destinate a mettere in evidenza la tendenza più o meno spiccata alla segregazione di tipi diversi di calcestruzzo.

Nel caso di calcestruzzi normali la segregazione per sedimentazione forzata corrisponderà, come si è visto, ad uno spostamento verso il basso delle particelle di peso specifico maggiore, con una velocità proporzionale al quadrato delle dimensioni lineari caratteristiche delle particelle. Questo spostamento delle particelle più pesanti fa sì che il peso speci-

fico del calcestruzzo, inizialmente costante al variare dell'altezza, risulterà invece, a segregazione avvenuta, crescente procedendo dagli strati più alti agli strati più bassi. È poi evidente, in base alla legge di Stokes, che nei casi normali la segregazione è essenzialmente dovuta allo spostamento verso il basso delle particelle appartenenti alla classe granulometrica di maggiori dimensioni.

Soltanto in casi particolari (calcestruzzi di pomice) il peso specifico degli inerti di dimensioni maggiori è inferiore al peso specifico del calcestruzzo e il senso del moto si invertirà, tendendo questi ultimi a risalire verso la superficie. In ogni caso la dislocazione degli inerti nell'interno della massa fa sì che il peso specifico del calcestruzzo, inizialmente costante, risulta, a segregazione avvenuta, crescente verso il basso.

Esperienze preliminari, eseguite presso i « Laboratoires du Batiment et des Travaux Publics » di Parigi, già mi avevano permesso di valutare con quale legge ed in quale entità si manifestasse in diversi tipi di calcestruzzo la variazione del peso specifico in funzione dell'altezza per effetto di un determinato trattamento dinamico. Riproduciamo in fig. 5 un diagramma relativo ad una prova di segregazione per sedimentazione forzata, effettuata su di un volume cilindrico di calcestruzzo di altezza $h_c = 27$ cm., sottoposto a un trattamento dinamico di 12 min. di vibrazione su tavola vibrante a 3000 giri/min, con ampiezza di vibrazione di 1 mm. Il calcestruzzo era composto da inerti di fiume ($D_{max} = 25$ mm.) a granulometria continua tipo Faury, con dosaggio di 250 Kg/m³ di cemento, e con 167 l/m³ d'acqua d'impasto.

All'aumento del peso specifico con la profondità, quale risulta chiaramente dal diagramma di figura 5, corrisponde evidentemente un certo abbassamento Δh_c del baricentro del calcestruzzo.

Nello studio già citato ⁽³⁾ si è dimostrato come a indice globale S dello stato di segregazione per sedimentazione forzata di un calcestruzzo convenga assumere l'espressione adimensionale:

$$S = \frac{\Delta h_c}{h_c} \cdot \frac{\gamma_c}{|\gamma_i - \gamma_c|} \quad (4)$$

dove Δh_c è lo spostamento, considerato positivo verso il basso, del baricentro di un elemento cilindrico, ad asse verticale, di calcestruzzo di altezza h_c per effetto della sedimentazione forzata, γ_c è il peso specifico del calcestruzzo omogeneo e γ_i è il peso specifico degli inerti che compongono il calcestruzzo ⁽¹⁰⁾.

⁽¹⁰⁾ Nel caso che sia esattamente definito in tutte le sue caratteristiche il trattamento dinamico che ha determinato in un calcestruzzo, originariamente omogeneo, un certo grado di segregazione per sedimentazione forzata, l'espressione S definita nella (4) può essere assunta a indice della più o meno grande tendenza a segregarsi, per sedimentazione forzata, dei calcestruzzi in istudio sottoposti a quel determinato trattamento dinamico.

Presentando i trattamenti dinamici utilizzati nelle prove

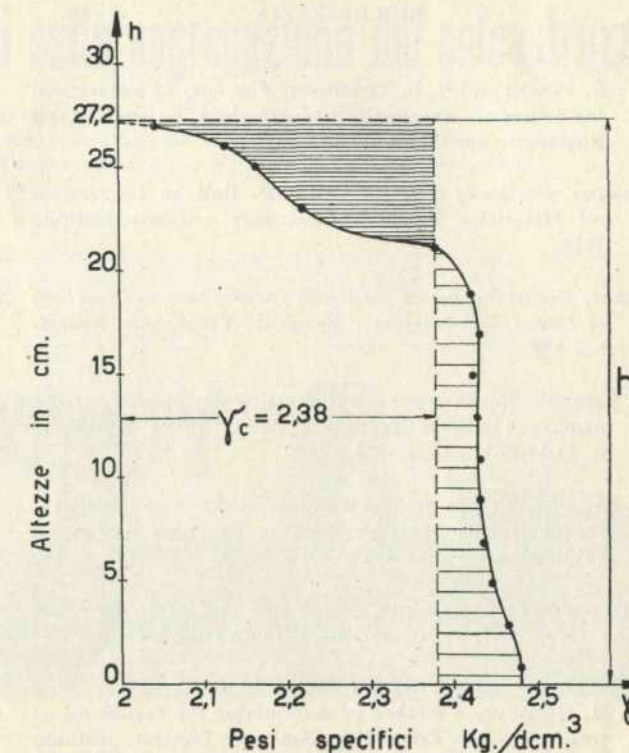


Fig. 5 - Diagramma del peso specifico in funzione dell'altezza in un calcestruzzo dopo 12 minuti di trattamento su tavola vibrante.

Questo metodo di valutazione dello stato di segregazione per sedimentazione forzata di un calcestruzzo è stato poi adottato, e per altra via giustificato dal punto di vista fisico, in un successivo studio di R. L'Hermite ⁽¹¹⁾ e la sua utilità pratica è stata recentemente confermata da una serie di esperienze e di applicazioni che saranno prossimamente descritte nei loro risultati essenziali.

Giovanni Tournon

Politecnico di Torino

di laboratorio (scosse o vibrazione) un carattere alternativo invariabile nel tempo, nello studio dell'andamento del fenomeno di segregazione per sedimentazione forzata in funzione della durata T del trattamento di vibrazione [$S = S(T)$] o in funzione dei numeri di scosse N [$S = S(N)$], diventa utile introdurre i concetti di segregabilità media e di segregabilità istantanea per sedimentazione forzata dei calcestruzzi relative a quei determinati tipi di trattamenti dinamici.

Si definisce per segregabilità media S'_m l'espressione:

$$S'_m = \frac{S(T)}{T} \quad \text{o} \quad S'_m = \frac{S(N)}{N}$$

dove S(T), S(N) sono gli indici di segregazione conseguenti ad una durata T del tipo di vibrazione adottata o ad un numero N di scosse successive.

Si definisce invece segregabilità istantanea S'_i l'incremento $dS(T)$, $dS(N)$ subito dall'indice di segregazione S(T) nel tempuscolo d T di vibrazione o per effetto della ennesima scossa a cui il calcestruzzo viene ad essere sottoposto.

⁽¹¹⁾ ROBERT L'HERMITE, *Fabrication et mise en oeuvre du béton* - Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Batiment - Avril 1949.

BIBLIOGRAFIA

- W. B. FULLER and S. E. THOMPSON, *The laws of proportioning concrete* - Transactions of American Society of Civil Engineers, aprile 1907.
- ABRAMS, *Design of concrete mixtures* - Bull. n. 1 - Structural Materiale» Research Laboratory - Lewis Institute 1918.
- FERET, *Recherche sur la meilleure composition des mortiers et bétons hydrauliques* - Revue de l'Ingénieur, Settembre 1923.
- J. BOLOMEY, *Résistance à la compression des mortiers et des bétons* - Bulletin Technique de la Suisse Romande, n. 11-14-15-17, anno 1925.
- R. DUTRON, *Dosage rationnel des mortiers et des bétons* - Revue des Matériaux de Construction, settembre-marzo 1927; giugno-agosto 1928.
- IMBRECHTS, *La composition granulométrique idéale des béton* - Congrès International du Béton et du Béton armé, Liège 1930.
- W. M. DUNACAN, *A method of determining the constituents of fresh concrete* - Proceedings American Concrete Institute - vol. 26, 1930, pag. 202.
- R. L. BERTIN, C. A. HUGUES, H. C. ROSS, G. J. GRIESENAUER, W. I. FREEL - *Discussion of a method of determining the constituents of fresh concrete* - Proceedings American Concrete Institute - vol. 26, 1930, pag. 670.
- WALSH, *Aggregate grading in relation to concrete mixtures design* - The Institution of Civil Engineer of Ireland, Aprile 1936.
- KURT WALZ, *Die Nachprüfung der Körnung des Zuschlags im Frischbeton* - beton und Eisen, 5 giugno 1936.
- L. H. TUTHILL, *Handling of concrete and aggregates* - Engineering News Record, 31 dicembre 1936.
- FAURY et LAMARE, *Méthode nouvelle pour la mesure de la plasticité de mise en oeuvre du béton* - Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics, gennaio-febbraio 1937.
- A. CAQUOT et J. FAURY, *Plasticité de mise en oeuvre du béton en construction de béton armé - Influence des principaux facteurs en jeu* - Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics, settembre-ottobre 1937.
- A. CAQUOT, *Le rôle des matériaux inertes dans le béton* - Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils de France, fascicolo 4, 1937.
- W. H. GLANVILLE and A. R. COLLINS, *The grading of aggregates and workability of concrete* - Road Research Technical Paper, n. 5, 1938.
- A. M. GAITDIN, *Principles of Mineral Dressing* - Ed. McGraw-Hill Book Company, 1939.
- ROBERT L'HERMITE, *Contribution à l'étude de la mécanique interne du béton* - Annales de l'Institut du Batiment et des Travaux Publics, série F., n. 2, 1941.
- VILLEY, *Granulométrie rationnelle du béton: le néobéton* - Génie Civil, 15 marzo e 1° ottobre 1946.
- RAFFAELE ARIANO, *Studio di miscele per calcestruzzi asciutti* - « Le strade », ottobre e novembre 1946.
- BR. BUKOWSKI, *Technologie Betonów i Zapraw* - Instytut Badawczy Budownictwa, Gdansk, 1947.
- A. R. COLIINS, *Effect of batching errors on the uniformity of concrete* - Road Research Laboratory, n. 3, 1947.
- ROBERT L'HERMITE et GIOVANNI Tournon, *La vibration du béton frais* - Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics, béton, béton Armé n. 1, febbraio 1948.
- R. H. H. KIRKHAM, *The analysis of fresh concrete* - Road Research Laboratory, aprile 1948.
- J. BOLOMEY, *La granulation des ballasts et son influence sur les caractéristiques des bétons fabriqués avec ceux-ci* - La Technique des Travaux, giugno 1948.
- GIOVANNI Tournon, *Nuove granulometrie per conglomerati cementizi* - Atti e Rassegna Tecnica degli Ingegneri e degli Architetti in Torino, agosto 1948.
- RAFFAELE ARIANO, *Sulle pavimentazioni stradali in calcestruzzo* - L'industria Italiana del Cemento, febbraio, luglio-agosto e settembre 1949.
- R. VALLETTE, *Composition des bétons - Mise au point de la question* - Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics, béton, béton Armé, n. 6, marzo-aprile 1949.
- ALBERT JOISEL, *L'homogénéité du béton et les bétonnières* - Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics - Matériel de Chantier, n. 3, marzo-aprile 1949.
- ROBERT L'HERMITE, *Fabrication et mise en oeuvre du béton* - Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Batiment, avril 1949.
- SVEN G. BERGSTRÖM et SVEN LINDERHOLM, *La vibration du béton - Recherches expérimentales* - Meddelanden, n. 18 - Svenska Forskningsinstitutet för Cement och Bétong, Stockholm 1949.
- ANDERS G. ERIKSSON, *Development of fluidity and mobility meters for concrete consistency tests* - Handlingar, n. 12 - Svenska Forskningsinstitutet för Cement och Bétong, Stockholm 1949.
- JOHS. ANDERSEN, PER BREDSORFF, NIELS H. KRARUP, K. MALMSTEDT-ANDERSEN, POUJ. NERENST and NIELS M. PLUM, *Testing of eleven danish concrete mixers* - The Danish National Institute of Building Research, Copenhagen 1951.
- R. DUTRON, *Comment composer les bétons - Granulometrie continue ou discontinue - Rétons à haute résistance* - Bulletin Tech. n. 46, Groupement Professionnel des Fabricants de Ciment Portland Artificiel de Belgique, Bruxelles 1952.
- R. ARIANO, *Granulometria e rapporto a/c nei calcestruzzi cementizi* - « L'industria Italiana del Cemento », novembre e dicembre 1952 e gennaio 1953.