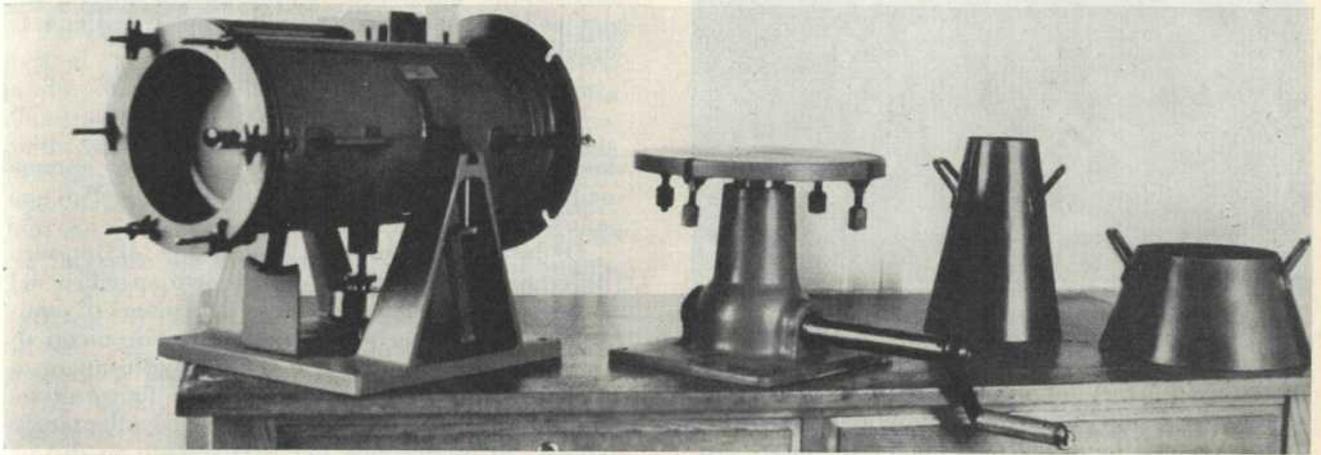


Apparecchiature e studi sperimentali sulla segregazione dei calcestruzzi

L'A. descrive un apparecchio per la misura dello stato di segregazione per sedimentazione forzata dei calcestruzzi e riporta i risultati di ricerche sperimentali con esso effettuate sulla segregazione dei calcestruzzi in funzione del tempo di vibrazione, della quantità d'acqua d'impasto, e dell'impiego di sostanze plastificanti ed aeranti.



1) Richiami.

Nel precedente studio « Sulla segregazione delle miscele incoerenti e dei calcestruzzi », parlando dei fenomeni di segregazione dei calcestruzzi che è dato riscontrare nei cantieri di costruzione, si è detto come di particolare gravità e frequenza siano quelli caratterizzati da un processo di sedimentazione forzata.

Si tratta di fenomeni che si verificano ogni qual volta il calcestruzzo viene sottoposto a trattamenti dinamici a carattere alternativo, aventi per effetto di fluidificare il calcestruzzo stesso per diminuzione statistica del suo attrito interno, consentendo il movimento relativo dei vari componenti di diversa massa specifica.

Nello studio sopra citato si è assunto ad indice globale S dello stato di segregazione per sedimentazione forzata di un calcestruzzo l'espressione:

$$S = \frac{\Delta h_G}{h_c} \frac{\gamma_c}{|\gamma_i - \gamma_c|} \quad (1)$$

dove Δh_G è l'abbassamento subito per effetto della segregazione dal baricentro di un volume cilindrico ad asse verticale di calcestruzzo di altezza h_c , γ_c è il peso specifico del calcestruzzo e γ_i il peso specifico degli inerti che lo compongono.

Nelle pagine seguenti descriviamo un apparecchio per la misura degli indici di segregazione per sedimentazione forzata secondo l'espressione (1). Questo apparecchio è stato realizzato in un primo tempo come prototipo (1949) (fig. 1) e sperimentato presso il Laboratorio di Costruzioni in Legno, Ferro e Cemento Armato del Politecnico di Torino e presso il Laboratorio Prove Materiali della SIP (Società Idroelettrica Piemonte), in seguito, introdotti alcuni perfezionamenti consigliati dall'esperienza, esso è stato costruito nella sua forma definitiva (1951)

(fig. 2) in alcuni esemplari ed utilizzato da ormai quasi due anni ancora presso il Laboratorio in Legno, Ferro e Cemento Armato del Politecnico di Torino, presso il Laboratorio Prove Materiali della SIP, e presso il Gabinetto di Scienza delle Costruzioni e Ponti della Scuola di Applicazione dell'Arma del Genio.

Ci è grato in questa sede porgere l'espressione della nostra gratitudine al Professore Giuseppe Albenga, Direttore del Laboratorio di Costruzioni in Legno Ferro e Cemento Armato del Politecnico di Torino e all'Ingegnere Giulio Gentile, Direttore del Servizio Costruzioni Idrauliche della SIP, che ci furono larghi di aiuto nella realizzazione di questo studio sperimentale.

2) Descrizione dell'apparecchio e delle modalità sperimentali per la misura della segregazione per sedimentazione forzata dei calcestruzzi.

In figura 3 riportiamo di questo apparecchio gli schemi costruttivi con sezioni parziali atte a renderne più efficace la rappresentazione.

L'apparecchio è formato da un recipiente cilindrico (1) di 50 cm. di altezza, dotato internamente di una leggera conicità allo scopo di facilitare lo sversamento del calcestruzzo dopo la prova. Il volume utile del recipiente è di circa 20 dcm³.

La chiusura del recipiente è realizzata a mezzo di un coperchio speciale (2) munito di fondo a superficie interna leggermente concava (3) e sfiato di aria assiale (4). Un manicotto esterno (5), mobile rispetto al coperchio vero e proprio ne assicura la tenuta ermetica, venendo a premere su di un anello in gomma (6) infilato sulla superficie cilindrica esterna del coperchio e da esso trattenuto grazie ad un apposito risalto del fondo. Detta chiusura ermetica si ottiene avvitando i dadi ad aletta di sei aste

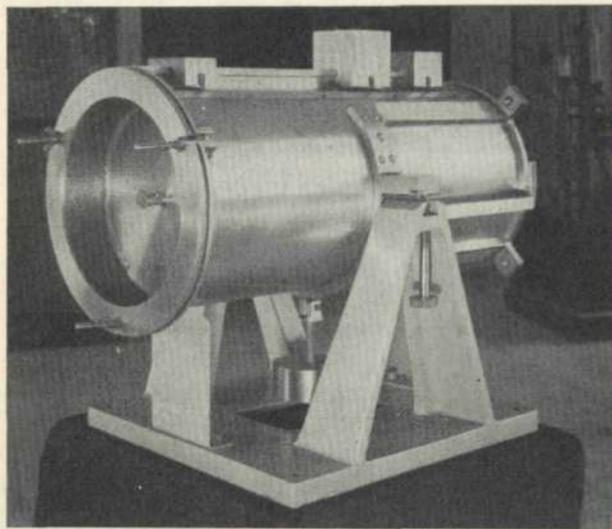


Fig. 1 - Prototipo dell'apparecchio di misura della segregazione per sedimentazione forzata dei calcestruzzi.

filettate, incernierate in (7) e munite di molla a scatto per il loro fermo nella posizione di ribaltamento verso il fondo del recipiente. Di queste aste filettate tre (8) vengono ad agire mediante i dadi ad alette (9) muniti di controdadi di fissaggio (10) su apposite sedi (11) previste sull'orlo del coperchio vero e proprio (2), mentre le altre tre (12) agiscono mediante i dadi ad alette prolungati (13), muniti di controdadi (14), sulle sedi previste nell'orlo del manicotto esterno (5), che può così essere portato a premere sull'anello di gomma (6), determinando, per espansione laterale di quest'ultimo, la tenuta ermetica del coperchio.

Sulla parete esterna del recipiente cilindrico sono saldate due robuste ali di acciaio (15) che presentano sulla loro faccia inferiore delle sedi riportate (16) in acciaio speciale e rettificato.

Quattro maniglie (17) consentono di trasportare agevolmente l'apparecchio.

Il fondo del cilindro è munito di una corona sporgente (18), munita di quattro asole (19) destinate al fissaggio dell'apparecchio durante il trattamento dinamico.

Nella posizione di misura il cilindro poggia con le sedi (16) su due coltelli in acciaio speciale rettificati (20), portati da un robusto basamento in ghisa (21).

Due viti a teste zigrinate (22), site a fianco dei coltelli, valgono a proteggere il filo dei coltelli stessi dagli urti che potrebbero verificarsi nel momento in cui si dispone il cilindro sul basamento di misura, nonché a ridurre il tempo di caricamento dei coltelli alla sola durata dell'operazione di equilibrio.

La posizione delle sedi rettificato (20) rispetto al cilindro è determinata in modo che l'apparecchio, funzionando come una bilancia in oscillazione sui coltelli, presenti una elevata sensibilità, senza che si abbiano per altro a verificare casi di equilibrio instabile. Per sensibilità s'intende qui il rapporto

$\frac{\alpha}{\Delta l}$ tra l'angolo α di cui deve inclinarsi l'asse del

cilindro perchè si ristabilisca l'equilibrio alterato da uno spostamento orizzontale Δl del baricentro del sistema oscillante, ed il valore Δl dello spostamento stesso.

La sensibilità è evidentemente tanto più elevata quanto minore è la distanza verticale d tra il baricentro del sistema oscillante e l'asse di oscillazione. Per contro con l'aumentare della sensibilità dell'apparecchio ne diminuisce la prontezza di misura, aumentando il periodo di oscillazione T secondo la legge:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{Pd}}$$

dove I è il momento d'inerzia dell'intero sistema oscillante rispetto all'asse di oscillazione, e P il suo peso.

Onde disporre in ogni condizione di impiego (differenze di riempimento e di peso specifico del calcestruzzo, differenze del peso dei cursori di equilibrio utilizzati) dei valori più convenienti di sensibilità e di prontezza, è stato previsto un regolatore di sensibilità, costituito da un cilindro di acciaio (23) che può essere avvicinato ed allontanato dall'asse di oscillazione per avvitamento su di una asta filettata (24), in modo da poter realizzare le necessarie variazioni di altezza del baricentro dell'intero sistema oscillante. Uno speciale controdado zigrinato (25) vale a bloccare il cilindro (23) nella posizione voluta.

Il regolatore di sensibilità è fissato al cilindro in corrispondenza dell'intersezione della sua generatrice inferiore col piano passante per l'asse di oscillazione e normale all'asse del cilindro, a mezzo di uno speciale attacco rapido a baionetta (26) munito di molla di reazione a lamina (27).

L'asta filettata del regolatore si prolunga inferiormente in un indice (28) mobile lungo una scala graduata di oscillazione (29) con lo zero sul piano verticale passante per l'asse di oscillazione.

L'equilibramento del sistema oscillante viene ottenuto a mezzo di tre cursori di forma cubica (30) (31) e (32) rispettivamente del peso di 0,5, di 1, e di 2 Kg., spostabili lungo una guida (33) disposta in corrispondenza della generatrice superiore del cilindro; i cursori presentano in mezzzeria di uno degli spigoli inferiori un indice (34) atto alla determinazione della posizione dei cursori stessi per lettura su di una scala millimetrica (35), fissata a fianco del profilato di guida a mezzo di un supporto (36) ed avente essa pure lo zero nel piano passante per l'asse di oscillazione e normale all'asse del cilindro.

Il trattamento dinamico di segregazione può essere ottenuto fissando il cilindro in posizione verticale su di una apparecchiatura atta ad imprimergli sollecitazioni di caratteristiche opportune.

A questo scopo è stata realizzata una speciale tavola a scosse ad altezza di caduta variabile da 0 ad un valore massimo di 18 mm. (fig. 4).

Riportiamo in fig. 5 gli schemi costruttivi di questa apparecchiatura.

Essa è costituita essenzialmente da un basamento (1) e da un piatto mobile (2) in acciaio fuso. Il ba-

samento porta un albero (3) montato su bronzine (4) sul quale è calettato un eccentrico (5) con risalto di 20 mm. di altezza. Detto albero viene messo in rotazione mediante una manovella (6). Nella parte superiore il basamento presenta una sede cilindrica (7) di guida al piatto mobile (2). Il movimento è impresso al piatto dall'eccentrico (5) che agisce sulla estremità inferiore dell'asta di acciaio (8) solidale col piatto mobile.

La regolazione dell'altezza di caduta del piatto da 0 al valore massimo di 18 mm. si effettua avvitando più o meno sull'asta filettata (8) il manicotto cilindrico (9). Infatti la corsa di caduta dell'insieme piatto (2), asta di comando (8), e cilindro di guida (9), che si determina dopo il superamento del risalto dell'eccentrico (5), è arrestata dalla battuta (10) del basamento che viene a contatto con la faccia inferiore del manicotto di guida (9). Pertanto per regolare l'altezza di caduta basterà far variare, avvitando il manicotto (9) sull'asta (8), la distanza esistente tra le due superfici d'urto quando il piatto si trova in posizione di massima elevazione.

Per fissare in una determinata posizione il cilindro (9) rispetto all'asta (8) ci si vale di tre viti di pressione (11) che vanno ad impegnarsi in apposite sedi (12) previste sulla superficie superiore del manicotto di guida (9).

È possibile fissare il segregometro sul piatto della tavola a scosse valendosi di quattro aste filettate (13), incernierate in (14) ai bordi del piatto, e dei relativi dadi (15).

Le stesse aste filettate disposte orizzontalmente e relativi dadi servono anche a fissare sul piatto (2) una tavola circolare (16) in lamiera di acciaio irrigidita da nervature, che compare disegnata a tratteggio in fig. 5. Questa tavola consente di utilizzare l'apparecchiatura come tavola a scosse per il flowtest (fig. 6) previa sostituzione della manovella (6) con una nuova manovella pure disegnata a tratteggio in fig. 5 di minor raggio e munita di prolunga.

Il procedimento da seguirsi per la determinazione della segregabilità di un calcestruzzo a mezzo di una simile attrezzatura è il seguente:

1) Fissato il cilindro sulla speciale tavola a scosse sopra descritta o su di una tavola vibrante, lo si riempie di calcestruzzo in cinque strati di circa 10 cm. di altezza ciascuno, e ad ogni strato si scuote o si vibra il cilindro in modo da determinare un costipamento del calcestruzzo tale da eliminare praticamente i vuoti esistenti. La durata dei periodi di vibrazione o del numero di scosse cui conviene sottoporre il calcestruzzo ad ogni nuovo apporto di materiale dipende dalla consistenza del calce-

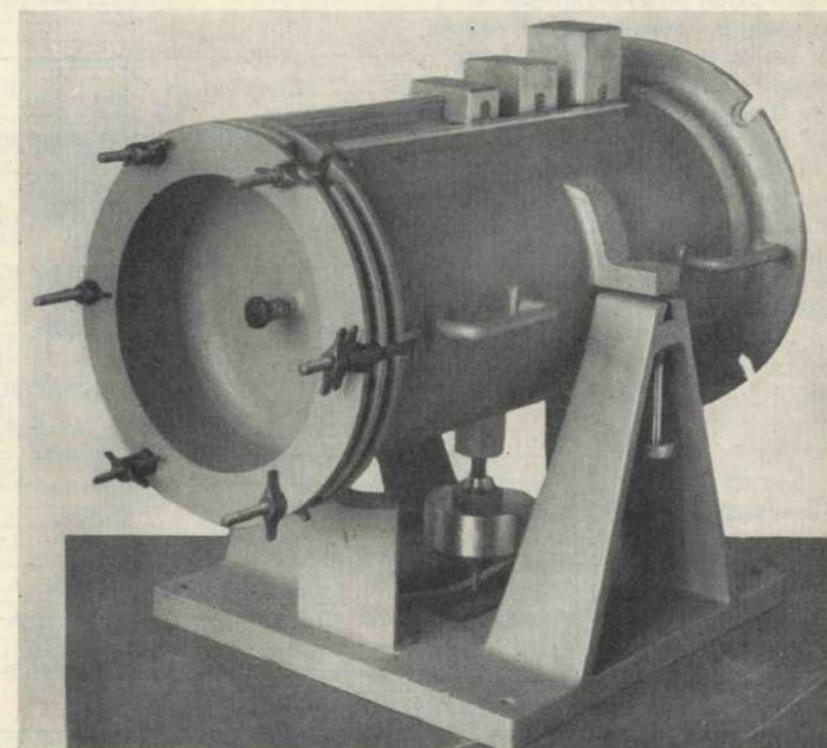
struzzo in prova e dalle caratteristiche del trattamento dinamico. Converrà che la durata della vibrazione o il numero delle scosse relativi all'ultima operazione di riempimento siano doppi di quelli relativi agli altri strati.

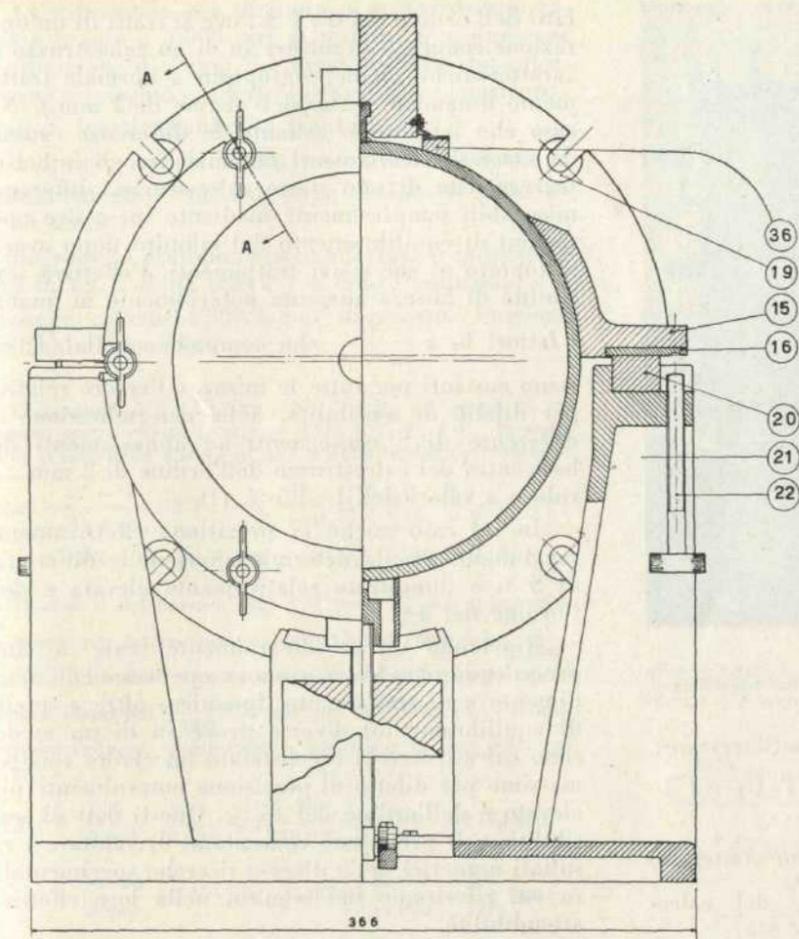
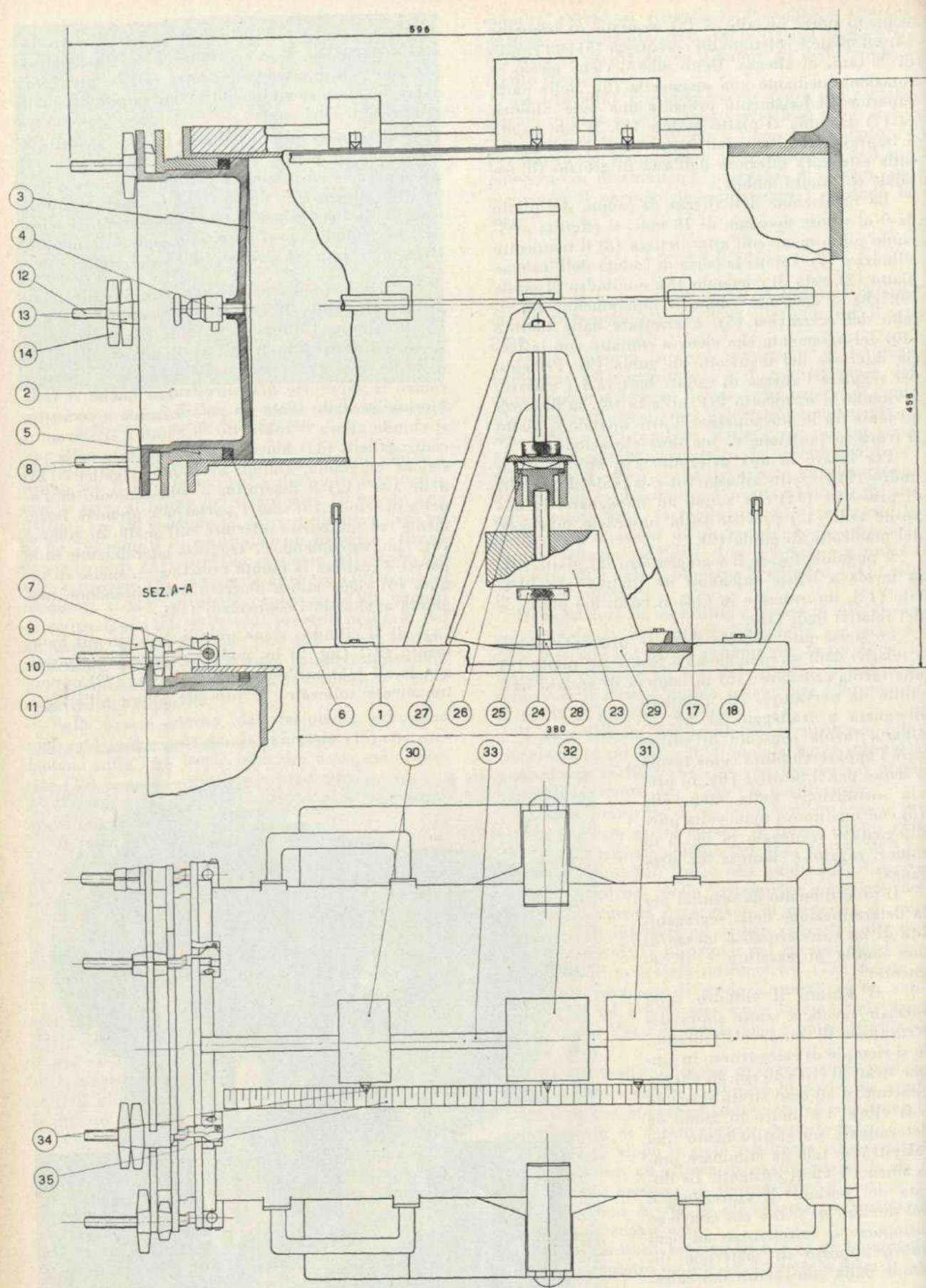
Si determina quindi l'altezza h_c del calcestruzzo misurando in quattro punti a 90° la distanza tra la sua superficie ed il bordo e mediando questi valori. Note le dimensioni del recipiente, questa misura consente la determinazione del volume V_c di calcestruzzo. Quindi si pesa il cilindro onde determinare, facendo la tara, il peso P_c del calcestruzzo.

2) Si procede quindi alla chiusura del recipiente con l'apposito coperchio a stantuffo (2); per questo, aperto il rubinetto di sfiato (4), si introduce il coperchio nel cilindro ed avvitando i galletti (9) delle tre aste (8) si porta il coperchio a premere contro la superficie del calcestruzzo finchè si veda fuoriuscire dallo sfiato un po' di acqua e cemento, si chiude allora il rubinetto di sfiato e si serrano i controgalletti (11) bloccando il coperchio nella posizione raggiunta. Quindi avvitando i galletti (13) delle aste (12) si determina l'abbassamento dell'anello di tenuta (5) sino a portarlo a premere fortemente col suo bordo inferiore sull'anello di gomma (6), che, espandendosi, reagisce lateralmente sulle pareti e realizza la tenuta ermetica. L'anello di tenuta (5) viene allora bloccato nella posizione raggiunta avvitando i controdadi (14).

3) Il cilindro viene quindi disposto sul basamento (21) (fig. 2) in modo che prenda appoggio con le ali (15) sull'estremità delle viti (22) opportunamente sollevate. Si procede allora all'attacco

Fig. 2 - Segregometro nella sua forma definitiva.





1	CILINDRO
2	COPERCHIO
3	FONDO CONCAVO
4	SFIATO
5	ANELLO ESTERNO DI TENUTA
6	ANELLO DI GOMMA
7	CERNIERE DELLE ASTE
8	ASTE FILETTATE DEL COPERCHIO
9	DADI AD ALETTE
10	CONTRODADI AD ALETTE
11	SEDI DEI DADI
12	ASTE FILETTATE DELL'ANELLO DI TENUTA
13	DADI AD ALETTE PROLUNGATI
14	CONTRODADI AD ALETTE
15	ALI DI APPOGGIO OSCILLANTE DEL CILINDRO
16	SEDI IN ACCIAIO SPECIALE RETTIFICATO
17	MANIGLIE
18	CORONA DI FISSAGGIO DEL CILINDRO
19	ATTACCHI PER IL FISSAGGIO
20	COLTELLI DI OSCILLAZIONE
21	BASAMENTO DI APPOGGIO DEL CILINDRO
22	VITE A TESTA ZIGRINATA
23	PESO REGOLATORE DI SENSIBILITÀ
24	ASTA FILETTATA
25	CONTRODADO ZIGRINATO
26	ATTACCO A BAIONETTA
27	MOLLA A LAMINA
28	INDICE DI OSCILLAZIONE
29	SCALA DI OSCILLAZIONE
30	CURSORE DA 0,5 Kg.
31	CURSORE DA 1 Kg.
32	CURSORE DA 2 Kg.
33	PROFILATO DI GUIDA
34	INDICE DEL CURSORE
35	SCALA MILLIMETRATA
36	SUPPORTO DELLA SCALA MILLIMETRATA

Fig. 3 - Prospetto e pianta del segregamento con sezioni parziali.

del regolatore di sensibilità (23), e si infilano sul profilo di guida (33) i tre pesi P_1 (30), P_2 (31) e P_3 (32) rispettivamente di 0,5, di 1 e di 2 Kg. Abbassando contemporaneamente le viti (22) si porta il cilindro a prendere appoggio con le sedi (16) sui coltelli di oscillazione (20). Si regola quindi, se necessario, la sensibilità dell'apparecchio avvitando o svitando il cilindro (23) e si equilibra il sistema spostando i cursori P_1 , P_3 , P_2 , in modo da portare l'indice (28) a coincidere con lo zero della scala graduata (29). Si procede allora alla lettura delle posizioni l_1 , l_2 , l_3 dei singoli pesi P_1 , P_2 , P_3 sulla scala millimetrata (35).

4) A mezzo delle viti (22) si solleva il cilindro dai coltelli di oscillazione quindi, allontanati i pesi P_1 , P_2 , P_3 ed il regolatore di sensibilità (23), si toglie il cilindro dal basamento, lo si fissa sulla apposita tavola a scosse (fig. 4) o su di una tavola vibrante, e lo si sottopone a un certo numero di scosse o ad un certo tempo di vibrazione.

5) Si dispone poi nuovamente il cilindro sul basamento e ripetendo le operazioni descritte al n. 3) si procede al suo equilibramento ed alla determinazione delle nuove posizioni l'_1 , l'_2 , l'_3 assunta dai pesi P_1 , P_2 , P_3 .

A questo punto si potrà considerare la prova come ultimata, o procedere ad altre operazioni di trattamento dinamico e di successivo equilibramento, a seconda che si voglia disporre di un solo valore dello stato di segregazione conseguente a un determinato trattamento dinamico, o di più valori, che possono eventualmente consentire il tracciamento del diagramma dello stato di segregazione in funzione dei tempi di vibrazione o dei numeri di scosse.

Note le posizioni l_1 , l_2 , l_3 dei tre pesi P_1 , P_2 , P_3 , relative alla prima operazione di equilibramento (calcestruzzo omogeneo), e le analoghe posizioni l'_1 , l'_2 , l'_3 , relative alle successive operazioni di equilibramento (calcestruzzo segregato), noto altresì il peso P_c del calcestruzzo contenuto nel cilindro del segregometro, risulta immediata la determinazione dell'abbassamento Δh_0 del baricentro del calcestruzzo conseguente al

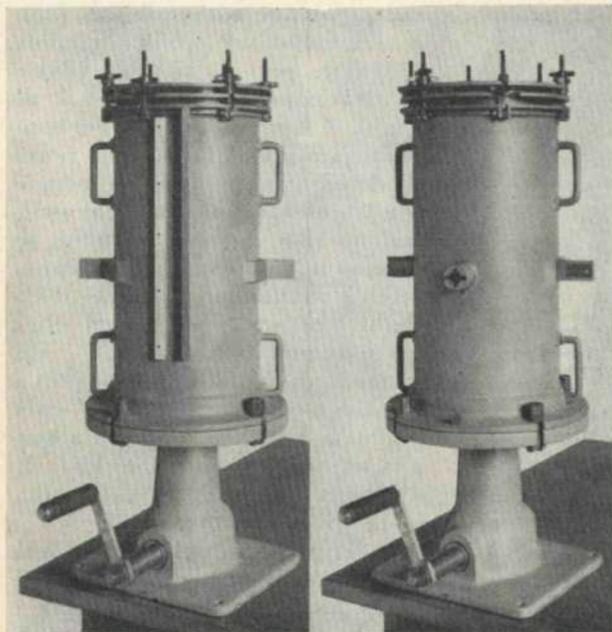


Fig. 4 - Segregometro montato sull'apposita tavola a scosse a salto variabile visto dal lato superiore e visto dal lato inferiore.

fenomeno di segregazione, si potrà infatti scrivere:

$$\Delta h_G = \frac{P_1(l_1 - l'_1) + P_2(l_2 - l'_2) + P_3(l_3 - l'_3)}{P_c}$$

Conoscendo l'altezza h_c del calcestruzzo contenuto nel cilindro, il peso specifico $\gamma_c = \frac{P_c}{V_c}$ del calcestruzzo, ed avendo precedentemente determinato il peso specifico γ_i degli inerti, si posseggono tutti gli elementi necessari al calcolo dell'indice di segregazione S del calcestruzzo secondo l'espressione (1) sopra definita:

$$S = \frac{\Delta h_G}{h_c} \cdot \frac{\gamma_c}{|\gamma_i - \gamma_c|}$$

L'apparecchio sopra descritto consente la determinazione dell'indice S con una sensibilità che si è dimostrata più che sufficiente agli scopi pratici. L'errore relativo per difetto di sensibilità risulta in-

(¹) Allo scopo di rendere palese quale sia l'influenza dei singoli errori di misura sul valore della sensibilità della misura dell'indice S , riteniamo interessante riportarne qui la determinazione.

Chiamando $\Delta' \Delta h_G$, $\Delta' h_c$, $\Delta' \gamma_c$, $\Delta' \gamma_i$ le sensibilità ottenibili nelle misure dei diversi fattori Δh_G , h_c , γ_c e γ_i che compaiono nella espressione dell'indice di segregazione:

$$S = \frac{\Delta h_G}{h_c} \cdot \frac{\gamma_c}{|\gamma_i - \gamma_c|} \quad (1)$$

la sensibilità $\Delta' S$ ottenibile nella misura di S può essere calcolata a mezzo della espressione:

$$\Delta' S = \left| \frac{\partial S}{\partial (\Delta h_G)} \cdot \Delta' \Delta h_G \right| + \left| \frac{\partial S}{\partial h_c} \cdot \Delta' h_c \right| + \left| \frac{\partial S}{\partial \gamma_c} \cdot \Delta' \gamma_c \right| + \left| \frac{\partial S}{\partial \gamma_i} \cdot \Delta' \gamma_i \right| = \left| \frac{1}{h_c} \cdot \frac{\gamma_c}{|\gamma_i - \gamma_c|} \cdot \Delta' \Delta h_G \right| + \left| \frac{\Delta h_G}{h_c^2} \cdot \frac{\gamma_c}{|\gamma_i - \gamma_c|} \cdot \Delta' h_c \right| + \left| \frac{\Delta h_G}{h_c} \cdot \frac{1}{|\gamma_i - \gamma_c|} \cdot \Delta' \gamma_c \right| + \left| \frac{\Delta h_G}{h_c} \cdot \frac{\gamma_c}{(\gamma_i - \gamma_c)^2} \cdot \Delta' \gamma_i \right|$$

fatti dell'ordine del 6÷7 %, ove si tratti di un'operazione completa di misura su di un calcestruzzo di caratteristiche medie, sottoposto a normale trattamento dinamico (Δh_G dell'ordine di 2 mm.). Nel caso che interessino soltanto le differenze causate da successivi trattamenti dinamici tra gli indici di segregazione di uno stesso calcestruzzo, differenze misurabili semplicemente mediante successive operazioni di equilibramento del cilindro dopo averlo sottoposto ai successivi trattamenti, l'effettiva sensibilità di misura aumenta notevolmente in quanto

i fattori h_c e $\frac{\gamma_c}{|\gamma_i - \gamma_c|}$ che compaiono nella (1) restano costanti per tutte le misure: l'errore relativo per difetto di sensibilità, nella determinazione di differenze di S conseguenti ad abbassamenti del baricentro del calcestruzzo dell'ordine di 2 mm., si riduce a valori dell'1÷1,5 % (¹).

In tal caso anche la precisione effettivamente raggiungibile nella determinazione delle differenze di S si è dimostrata relativamente elevata e dell'ordine del 3 %.

Ripetendo invece integralmente (vale a dire procedendo ogni volta a nuove operazioni di riempimento e di trattamento dinamico, oltre a quelle di equilibramento) diverse prove su di un medesimo calcestruzzo si è constatato un errore relativo massimo per difetto di precisione notevolmente più elevato e dell'ordine del 15 %. Questi dati di sensibilità e di precisione consentono di valutare i risultati numerici delle diverse ricerche sperimentali, su cui riferiremo nel seguito, nella loro effettiva attendibilità.

3) Risultati sperimentali.

a) Segregazione di un calcestruzzo in funzione dei tempi di vibrazione.

A titolo di esempio riportiamo integralmente i dati e i risultati relativi ad una serie di esperienze destinate a determinare la legge di variazione degli indici di segregazione di un calcestruzzo in funzione dei tempi di vibrazione.

Ponendoci nel caso di calcestruzzi di caratteristiche medie, una normale prova di segregazione (p. es. da 1 a 3 minuti di trattamento su tavola vibrante a 3000 giri/min, ampiezza 1 mm.) determina un abbassamento Δh_G del centro di gravità del calcestruzzo dell'ordine di 1 ÷ 3 mm.; poniamo mediamente $\Delta h_G = 2$ mm. L'altezza h_c del calcestruzzo nel cilindro di misura è mediamente di 47 cm., il peso specifico del calcestruzzo γ_c è mediamente dell'ordine di 2,4 Kg/dcm³, quello degli inerti dell'ordine di 2,7 Kg/dcm³.

Determiniamo innanzitutto l'errore $\Delta' \Delta h_G$ di cui può essere affetta la misura dell'abbassamento del baricentro del calcestruzzo. Detto abbassamento può essere definito, come si è visto, dall'espressione $\Delta h_G = \frac{P(l - l')}{P_c} = \frac{P(l - l')}{P_t - P_a}$, dove P_c è il peso del calcestruzzo contenuto cilindro di prova, determinato come differenza del peso P_t del cilindro di prova pieno di calcestruzzo, che mediamente è di 90 Kg., e del peso P_a del cilindro vuoto, che col coperchio è di circa 40 Kg. P_c vale dunque mediamente 50 Kg. e se P rappresenta il peso del cursore (32) di 0,5 Kg. ad uno spostamento Δh_G del baricentro del calcestruzzo di circa 2 mm. corrisponderà una corsa $(l - l')$ del cursore (32) dell'ordine di 200 mm.

La vibrazione era ottenuta a mezzo di una tavola vibrante a 3.000 giri al minuto con ampiezza di vibrazione di 1 mm. Le caratteristiche del calcestruzzo impiegato e i dati di prova erano i seguenti: Tipo di inerti: Anfibolite frantumata. Peso specifico degU inerti: $\gamma_i = 2,916$ Kg/dcm³ Granulometria: Continua tipo Bolomey ($D_{max} = 40$ mm.).

Il diagramma granulometrico adottato è rappresentato in fig. 7 dalla curva 1 a tratto continuo. Dosaggio cemento: 300 Kg/m³ di cemento Portland artificiale tipo 500.

Chiamando $\Delta' P$, $\Delta' l$, $\Delta' l'$, $\Delta' P_t$, $\Delta' P_a$ gli errori di cui possono essere affette le misure di P , l , l' , P_t e P_a , la sensibilità $\Delta' \Delta h_G$ della misura di Δh_G è definita dalla espressione:

$$\Delta' \Delta h_G = \left| \frac{l - l'}{P_t - P_a} \cdot \Delta' P \right| + \left| \frac{P}{P_t - P_a} \Delta' l \right| + \left| \frac{P}{P_t - P_a} \cdot \Delta' l' \right| + \left| P(l - l') \cdot P_t^{-2} \cdot \Delta' P_t \right| + \left| P(l - l') P_a^{-2} \Delta' P_a \right|$$

Il peso P del cursore (32) e il peso P_a dell'apparecchio possono essere determinati una volta tanto a meno del $\frac{1}{10.000}$, il peso P_t del cilindro pieno viene determinato ad ogni operazione a meno del $\frac{1}{2.000}$ (50 grammi su 100 Kg.). Pertanto potremo scrivere, esprimendo le lunghezze in mm. ed i pesi in gr.:

$$\Delta' \Delta h_G = \frac{200}{50.000} \cdot \frac{500}{10.000} + 2 \cdot \frac{500}{50.000} \cdot 1 + 500 \cdot 200 \cdot 90.000^{-2} \cdot \frac{90.000}{2.000} + 500 \cdot 200 \cdot 40.000^{-2} \cdot \frac{40.000}{10.000} = \frac{2,1}{100} \text{ mm.}$$

Ciò significa che l'apparecchio è in grado di apprezzare spostamenti del baricentro del calcestruzzo di poco superiori al $\frac{1}{20}$ di mm.

L'errore di cui può essere affetta la misura dell'altezza del calcestruzzo nel cilindro è dell'ordine di 1 mm.; porremo pertanto $\Delta' h_c = 1$ mm.

Il peso specifico degli inerti può essere determinato facilmente con i normali procedimenti della fisica a meno del $\frac{2}{1.000}$ Kg/dcm³.

Determiniamo ora di quale errore può essere affetta la misura del peso specifico γ_i del calcestruzzo. Detto peso specifico viene determinato a mezzo della espressione:

$$\gamma_c = \frac{P_t - P_a}{h_c \cdot A_c}$$

dove A_c è l'area del recipiente cilindrico e gli altri simboli hanno il significato già noto. Potremo dunque scrivere:

$$\Delta' \gamma_c = \left| \frac{1}{h_c A_c} \Delta' P_t \right| + \left| \frac{1}{h_c A_c} \Delta' P_a \right| + \left| \frac{P_t - P_a}{h_c} \cdot \frac{1}{A_c^2} \cdot \Delta' A_c \right| + \left| \frac{P_t - P_a}{A_c} \cdot \frac{1}{h_c^2} \cdot \Delta' h_c \right|$$

L'area A_c è di circa 44.000 mm², l'altezza h_c , come si è visto, mediamente di 470 mm., il peso P_t di 90 Kg. ed il peso P_a di 40 Kg. Valutando il diametro D_c del cilindro, di circa 235 mm., a meno del $\frac{1}{10}$ di mm., l'errore ΔA_c possibile nella valutazione dell'area A_c vale:

$$\Delta' A_c = \frac{\pi}{2} \cdot D_c \Delta D_c = \frac{\pi}{2} \cdot 235 \cdot 0,1 = 40 \text{ mm.}^2$$

Dosaggio acqua: 175 litri/m³

Lavorabilità alla prova VEBE: $\frac{1}{8''}$

Altezza del calcestruzzo nel cilindro: $h_c = 43,9$ cm.

Volume del calcestruzzo nel cilindro: $V_c = 17,61$ dcm³

Peso del calcestruzzo nel cilindro: $P_c = 44,57$ Kg.

Peso specifico del calcestruzzo nel cilindro: $\gamma_c = \frac{P_c}{V_c} = 2,531$ Kg/dcm³

I risultati delle prove di segregazione su questo calcestruzzo sono riportati nella tabella riassuntiva di pag. 325.

Si avrà dunque:

$$\Delta' \gamma_c = \left| \frac{1}{470 \cdot 44.000} \cdot \frac{90.000}{2.000} \right| + \left| \frac{1}{470 \cdot 44.000} \cdot \frac{40.000}{10.000} \right| + \left| \frac{90.000 - 40.000}{470} \cdot \frac{1}{44.000^2} \cdot 40 \right| + \left| \frac{90.000 - 40.000}{44.000} \cdot \frac{1}{470^2} \cdot 1 \right| = \frac{1,15}{100} \text{ Kg/dcm}^3$$

Si posseggono così tutti gli elementi per il calcolo della sensibilità $\Delta' S$ secondo l'espressione (2), sarà:

$$\Delta' S = \left| \frac{1}{470} \cdot \frac{2,4}{2,7 - 2,4} \cdot \frac{2,1}{100} \right| + \left| \frac{2}{470^2} \cdot \frac{2,4}{2,7 - 2,4} \cdot 1 \right| + \left| \frac{2}{470} \left(\frac{1}{2,7 - 2,4} + \frac{2,4}{(2,7 - 2,4)^2} \right) \cdot \frac{1,15}{100} \right| + \left| \frac{2}{470} \cdot \frac{2,4}{(2,7 - 2,4)^2} \cdot \frac{2}{1.000} \right| = \frac{2,15}{1.000}$$

Per i valori di Δh_G , h_c , γ_i e γ_c sopra riportati lo stato di segregazione S vale:

$$S = \frac{\Delta h_G}{h_c} \cdot \frac{\gamma_c}{|\gamma_i - \gamma_c|} = \frac{2}{470} \cdot \frac{2,4}{2,7 - 2,4} = \frac{34}{1.000}$$

Pertanto l'errore relativo $\frac{\Delta' S}{S}$ di sensibilità nella misura dello stato di segregazione di un calcestruzzo col metodo sopra esposto risulta:

$$\frac{\Delta' S}{S} = \frac{2,15}{37,3} = 6,3\%$$

Nel caso che interessi determinare le differenze, causate da successivi trattamenti dinamici, tra gli indici di segregazione dello stesso volume di calcestruzzo, differenze determinate, come già si è detto, mediante successive operazioni di equilibramento del cilindro dopo averlo sottoposto ai successivi trattamenti, l'effettiva sensibilità di misura aumenta notevolmente in quanto i fattori h_c e $\frac{\gamma_c}{|\gamma_i - \gamma_c|}$ che compaiono nella (1) restano costanti per tutte le misure. In tal caso si potrà dunque scrivere:

$$\Delta' S = \Delta' \Delta h_G$$

ma, per le condizioni sperimentali sopra menzionate, si è visto che $\Delta' \Delta h_G = \frac{2,1}{100}$ mm. e se gli abbassamenti del baricentro del calcestruzzo conseguenti ai successivi trattamenti sono ancora dell'ordine di 2 mm., l'errore relativo di sensibilità si riduce a:

$$\frac{\Delta' \Delta h_G}{\Delta h_G} = \frac{2,1}{2 \cdot 100} = 1,05\%$$

Nella prima colonna della tabella compaiono le durate dei successivi trattamenti dinamici su tavola vibrante, nella seconda i tempi progressivi totali di vibrazione, nella terza, quarta e quinta le

posizioni lette in cm. sulla scala graduata di riferimento dei pesi di equilibramento P_1 , P_2 e P_3 rispettivamente di 2, 1 e 0,5 Kg., nella sesta e settima colonna rispettivamente i momenti assoluti

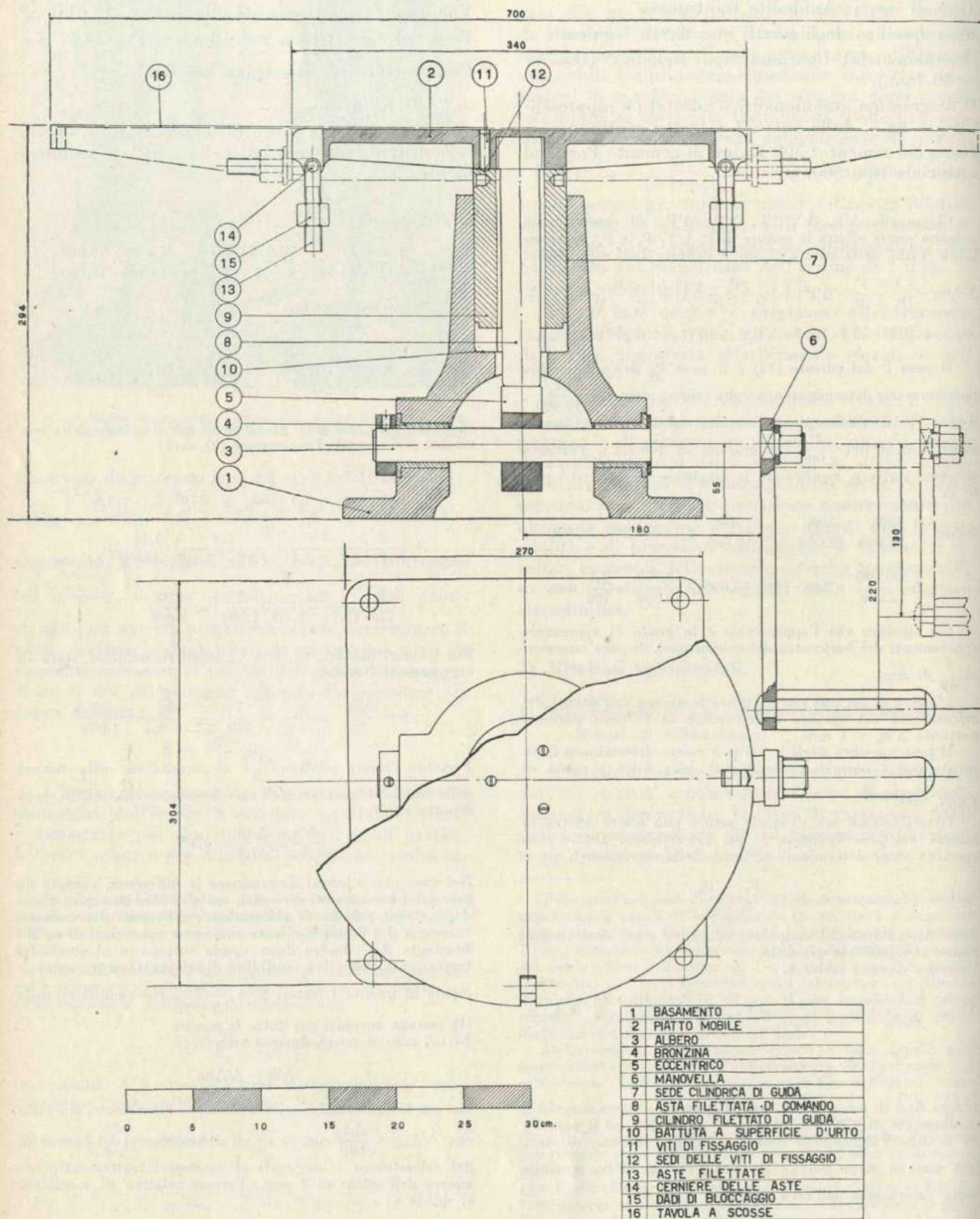


Fig. 5 - Sezione e pianta della tavola a scosse a salto variabile per lo studio della segregazione dei calcestruzzi.

TABELLA RIASSUNTIVA

Prove di segregazione per diversi tempi di vibrazione

Tempi di vibrazione parziali in minuti primi	Tempi di vibrazione progressivi in minuti primi	Posizione dei pesi sulla scala di riferimento in cm.			Momenti di equilibrio (Kg. x cm.)		$\Delta h_G = \frac{M_r}{P_c}$ cm.	$\frac{\Delta h_G}{h_c} \times 100$	$S = \frac{\Delta h_G \cdot \gamma_c}{h_c \cdot \gamma_i - \gamma_c } \times 100$	$S'_m = \frac{S}{T} \times 100$ min. ⁻¹
		$P_1 = 2 \text{ Kg.}$	$P_2 = 1 \text{ Kg.}$	$P_3 = 0,5 \text{ Kg.}$	Assoluti M_a	Relativi M_r				
0	0	0,00	-23,60	-0,18	-23,69	0,00	0,00	0,000	0,00	—
1'	1'	-15,01	0,00	-8,50	-34,27	10,58	0,231	0,526	3,46	3,46
2'	3'	-18,98	0,00	-10,55	-43,23	19,54	0,437	0,996	6,55	2,18
4'	7'	-21,50	-7,49	0,00	-50,49	26,80	0,601	1,368	9,00	1,28
7'	14'	-21,50	-13,92	0,00	-56,49	33,23	0,745	1,696	11,1	0,80
11'	25'	-21,50	-17,50	-0,50	-60,75	37,06	0,831	1,892	12,4	0,50
18'	43'	-21,50	-17,58	-5,91	-63,53	39,84	0,891	2,029	13,3	0,31
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI

Ma di detti pesi ed i momenti relativi M_r (differenze tra i vari momenti assoluti ed il momento assoluto iniziale) in Kg. x cm.

Essendo P_c il peso del calcestruzzo contenuto nel cilindro, gli abbassamenti Δh_G del baricentro del calcestruzzo risultano dai rapporti $\frac{M_r}{P_c}$ che vengono riportati nell'ottava colonna. Nella nona colonna compaiono moltiplicati per 100 i rapporti $\frac{\Delta h_G}{h_c}$, dove h_c è, come si è visto, l'altezza del calcestruzzo ed infine nella decima colonna, sempre moltiplicati per 100, i valori degli indici di segregazione $S = \frac{\Delta h_G}{h_c} \cdot \frac{\gamma_c}{|\gamma_i - \gamma_c|}$.

Nell'ultima colonna della tabella sono riportati i valori delle segregabilità medie $S'_m = \frac{S}{T}$, dove, secondo la definizione data nel precedente studio « Sulla segregazione delle miscele incoerenti e dei calcestruzzi », T sono i tempi progressivi totali di vibrazione cui corrispondono gli indici di segregazione S .

La rappresentazione grafica degli indici di segregazione S e della segregabilità media $S'_m = \frac{S}{T}$, in funzione dei tempi di vibrazione, è riportata in fig. 8.

Riportando i tempi in scala logaritmica (fig. 9), i punti rappresentativi di S si allineano abbastanza regolarmente lungo una retta; S può quindi essere espresso in funzione di T a mezzo di un'equazione del tipo:

$$S = a + b \log T,$$

dove a e b sono due coefficienti numerici positivi. Tale tipo di espressione in S in funzione del tempo di vibrazione T , è stata riscontrata valida per tutti i calcestruzzi sperimentati, e si trasforma nell'analoga espressione:

$$S = a' + b' \log N$$

quando, invece che ad un certo tempo di vibrazione, il calcestruzzo sia sottoposto a un certo numero N di scosse.

Nel caso delle prove qui descritte, gli indici di segregazione S sono esprimibili in funzione del tempo di vibrazione T a mezzo della equazione:

$$S = 0,0346 + 0,065 \log T \quad (4)$$

ove il tempo T è misurato in minuti primi. Derivando rispetto al tempo questa espressione si ottiene l'espressione della segregabilità istantanea S'_i , che nel caso della prove sopradette diventa:

$$S'_i = \frac{dS}{dt} = 0,028 \cdot \frac{1}{T}$$

Riportando detta curva sul diagramma di fig. 8 si constata, cosa del resto intuitiva, come essa risulti ovunque inferiore alla curva $S'_m = \frac{S}{T}$ della segregabilità media, la cui espressione in base alla (4) risulta:

$$S'_m = \frac{S}{T} = \frac{0,0346}{T} + \frac{0,065 \log T}{T}$$

b) Segregazione di un calcestruzzo in funzione della quantità d'acqua d'impasto.

È noto come in un calcestruzzo il pericolo della segregazione, in particolare della segregazione per sedimentazione forzata, sia tanto più sentito quan-

Fig. 6 - Tavola a scosse apparecchiata per il « Flow-Test ».



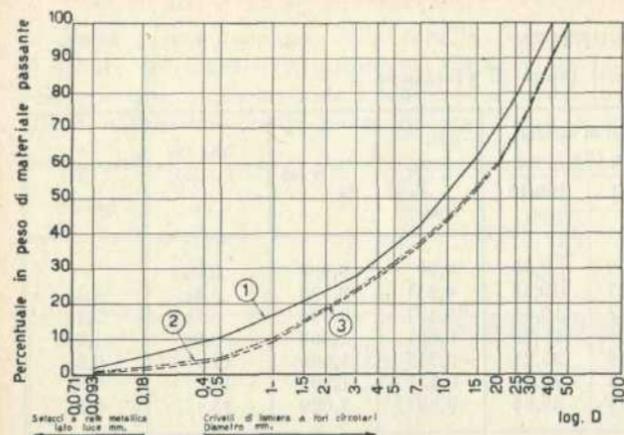


Fig. 7 - Diagrammi granulometrici degli inerti impiegati.

to, a parità di altre condizioni, è maggiore il volume di acqua d'impasto impiegato.

Una serie di prove è stata condotta allo scopo di studiare la legge di variazione della segregazione per sedimentazione forzata di un calcestruzzo tipo in funzione delle quantità d'acqua d'impasto.

Queste prove sono state condotte su di un calcestruzzo tale da rappresentare il tipo medio di calcestruzzo da cemento armato comunemente utilizzato; si è scelto un calcestruzzo dosato a 300 Kg/m³ di cemento Portland artificiale tipo 500, realizzato con inerti di fiume con diametro massimo di 25 mm. di cui riportiamo in fig. 10 il diagramma granulometrico secondo Faury.

Con questo tipo di calcestruzzo sono state eseguite, in tre differenti riprese, sei prove di segregazione per ogni ripresa, partendo da un dosaggio minimo di acqua di 135 litri per m³ di calcestruzzo e andando di prova in prova aumentandolo. Dopo ogni prova il calcestruzzo veniva infatti sversato dal cilindro, rimescolato energicamente, sì da omogeneizzarlo, con l'aggiunta di quantitativi d'acqua tali da realizzare successivamente i seguenti dosaggi in litri per m³ di calcestruzzo:

135-150-180-210-240-255 l/m³.

I calcestruzzi così ottenuti sono stati sottoposti ogni volta ad un trattamento dinamico di 5 min. di vibrazione su tavola vibrante a 3.000 giri al min., con ampiezza di vibrazione di 1 mm.

Gli indici di segregazione misurati risultano dallo specchio seguente, in cui ogni valore rappresenta la media di tre prove, eseguite nelle tre diverse riprese, su calcestruzzi aventi tutti la composizione sopra riportata.

Dosaggi d'acqua d'impasto l/m ³	Indici di segregazione dopo 5 min. di vibrazione
135	0,013
150	0,015
180	0,033
210	0,052
240	0,071
255	0,131

I risultati di queste esperienze sono stati espressi graficamente in fig. 11. Da essa risulta come i punti rappresentativi degli stati di segregazione in funzione della quantità d'acqua d'impasto si dispongono

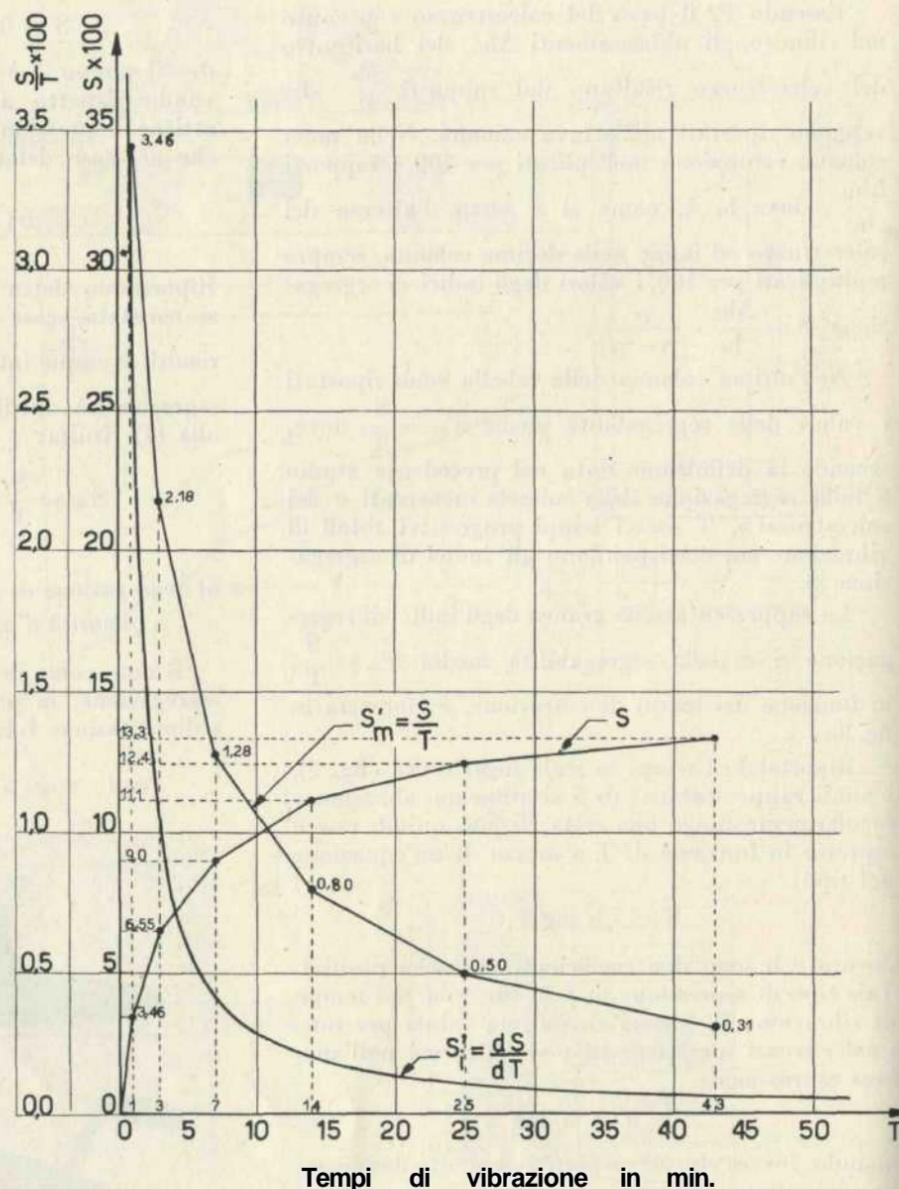


Fig. 8 - Diagramma degli indici di segregazione e delle segregabilità medie ed istantanee di un calcestruzzo in funzione dei tempi di vibrazione.

con una certa regolarità secondo una curva esprimibile a mezzo di una relazione del tipo:

$$\log S = k_1 a - k_2$$

dove S è l'indice di segregazione, a la quantità di acqua d'impasto espressa in litri per m³ di calcestruzzo e k₁, k₂ due coefficienti numerici positivi.

Nel caso nostro specifico i risultati delle prove possono essere interpretati abbastanza fedelmente ponendo k₁=0,08 e k₂=4,00, come risulta dalla fig. 11 in cui è stata appunto tracciata la curva di equazione:

$$\log S - 0,08 a - 4,00.$$

c) Studio dell'effetto di sostanze plastificanti ed aeranti sulla segregazione di un calcestruzzo.

È noto dalla letteratura tecnica particolarmente abbondante apparsa in questi ultimi anni sull'uso di sostanze plastificanti ed aeranti nella confezione dei calcestruzzi come si affermi generalmente che tali sostanze hanno, insieme ad altri benefici effetti, la proprietà di ridurre la tendenza dei calcestruzzi a segregarsi.

Parve interessante controllare sperimentalmente queste asserzioni, e tale controllo sembrò tanto più opportuno in quanto, mentre gli altri effetti sulle proprietà del calcestruzzo fresco e indurito (aumento della lavorabilità a pari resistenza meccanica; aumento della resistenza meccanica, della resistenza al gelo e della impermeabilità a pari lavorabilità) sono stati già quantitativamente dimostrati da numerose prove di laboratorio, a proposito della resistenza alla segregazione non esistono, in tutta la pur abbondante letteratura, che affermazioni qualitative, prive di qualsiasi conferma sperimentale.

Le prove furono condotte su calcestruzzi dosati a 200 ed a 250 Kg/m³ di cemento Portland artificiale tipo 500, composti da inerti di origine alluvionale di 50 mm. di diametro massimo, di cui diamo in fig. 7 (curva 2) il diagramma granulometrico.

La via seguita in questa ricerca fu di confrontare la segregabilità di tali calcestruzzi con quella relativa a calcestruzzi di eguale dosaggio di cemento, di quasi eguale composizione granulometrica (curva 3 della figura 7) e di pari o superiore lavorabilità, ai quali era stata aggiunta una sostanza plastificante ed aerante nella sua dose normale.

La leggera differenza (fig. 7) tra la curva granulometrica 2, relativa ai calcestruzzi senza sostanze plastificanti ed aeranti, e la curva granulometrica 3, relativa ai calcestruzzi con aggiunta di dette sostanze, deriva dal fatto che è stato diminuito il quantitativo di sabbia passante al crivello D=0,5 mm. di un volume pari al volume di pori determinato dall'aerante, vale a dire di circa l'8 % del suo volume iniziale.

La lavorabilità dei calcestruzzi è stata valutata

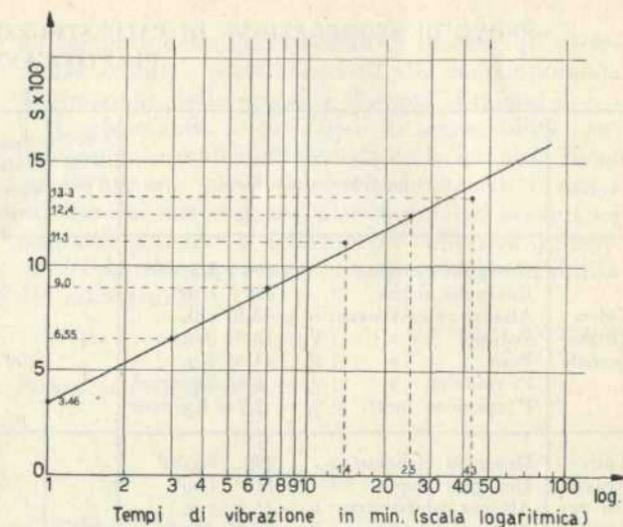


Fig. 9 - Diagramma degli indici di segregazione di un calcestruzzo in funzione dei tempi di vibrazione in scala logaritmica.

col metodo VEBE, che, fra tutti i metodi in uso, riteniamo essere quello dotato di maggiore sensibilità e precisione per il tipo di calcestruzzi sperimentati.

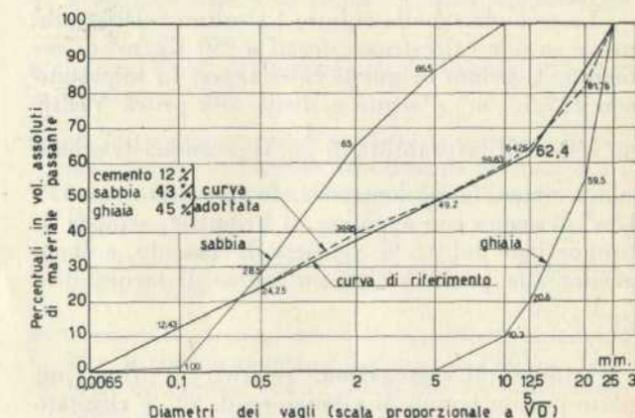
A titolo di esempio riportiamo nelle tabelle successive i risultati di alcune di queste prove.

La prima tabella si riferisce a due calcestruzzi dosati a 200 Kg/m³ di cemento; il primo con 130 l/m³ di acqua d'impasto diede alla prova VEBE un indice di lavorabilità di 1/10". Il secondo calcestruzzo fu realizzato con soli 110 l/m³ di acqua d'impasto e con l'aggiunta della dose normale di una sostanza plastificante ed aerante (Frioplast) in proporzione del 0,5 % del peso di cemento. Quest'ultimo impasto, pur comportando un minore quantitativo di acqua, diede alla prova VEBE un indice di lavorabilità 1/8", alquanto maggiore di quello relativo al

primo impasto.

L'indice di segregazione relativo al primo impasto per un tempo di vibrazione di 90" è risultato 0,062 e l'indice di segregabilità 0,041 min.⁻¹. Per il secondo impasto, con aggiunta di Frioplast, l'in-

Fig. 10 - Diagramma granulometrico secondo Faury del calcestruzzo tipo adottato.



PROVE DI SEGREGAZIONE DI CALCESTRUZZI DOSATI A 200 Kg/m³ SENZA E CON SOSTANZE PLASTIFICANTI ED AERANTI

Tipo di calcestruzzo	Caratteristiche dei calcestruzzi	Lavorabilità VEBE sec. -1	Tempi di vibrazione in secondi	Posizione dei pesi sulla scala di riferimento in cm.			Momenti di equilibrio Kg. x cm.		$\Delta h_G = \frac{M_r}{P_c}$ cm.	$\frac{\Delta h_G}{h_c} \cdot 100$	$S = \frac{\Delta h_G \cdot \gamma_c}{h_c \cdot \gamma_i \cdot \gamma_c} \cdot 100$	$S'_{m} = \frac{S}{T} \cdot 100$ min. -1
				P ₁ = 2 Kg.	P ₂ = 1 Kg.	P ₃ = 0,5 Kg.	Assoluti M _a	Relativi M _r				
Calcestruzzo normale	Dosaggio cemento : 200 Kg/m ³ Dosaggio acqua : 130 l/m ³ Altezza calcestruzzo: h _c = 44,8 cm. Volume » : V _c = 18,01 dcm ³ Peso » : P _c = 44,45 Kg. P. specifico » : γ _c = 2,46 Kg/dcm ³ P. specifico inerti : γ _i = 2,740 Kg/dcm ³	1/10''	0	-17,5	—	—	-35	0,00	0,00	0,00	0,00	—
			90''	-20,5	-7,5	—	-48,5	13,5	0,304	0,681	6,2	4,1
Calcestruzzo con aggiunta di plastificante-aerante	Dosaggio cemento : 200 Kg/m ³ Dosaggio acqua : 110 l/m ³ Altezza calcestruzzo: h _c = 45,6 cm. Volume » : V _c = 18,30 dcm ³ Peso » : P _c = 44,50 Kg. P. specifico » : γ _c = 2,43 Kg/dcm ³ P. specifico inerti : γ _i = 2,740 Kg/dcm ³	1/8''	0	-6,72	3,83	—	17,27	0,00	0,00	0,00	0,00	—
			90''	-8,21	6,75	2,80	24,57	7,30	0,164	0,360	2,8	1,9

PROVE DI SEGREGAZIONE DI CALCESTRUZZI DOSATI A 250 Kg/m³ SENZA E CON SOSTANZE PLASTIFICANTI ED AERANTI

Tipo di calcestruzzo	Caratteristiche dei calcestruzzi	Lavorabilità VEBE sec. -1	Tempi di vibrazione in secondi	Posizione dei pesi sulla scala di riferimento in cm.			Momenti di equilibrio Kg. x cm.		$\Delta h_G = \frac{M_r}{P_c}$ cm.	$\frac{\Delta h_G}{h_c} \cdot 100$	$S = \frac{\Delta h_G \cdot \gamma_c}{h_c \cdot \gamma_i \cdot \gamma_c} \cdot 100$	$S'_{m} = \frac{S}{T} \cdot 100$ min. -1
				P ₁ = 1 Kg.	P ₂ = 1 Kg.	P ₃ = 0,5 Kg.	Assoluti M _a	Relativi M _r				
Calcestruzzo normale	Dosaggio cemento : 250 Kg/m ³ Dosaggio acqua : 137,5 l/m ³ Altezza calcestruzzo: h _c = 46,4 cm. Volume » : V _c = 19,13 dcm ³ Peso » : P _c = 47,28 Kg. P. specifico » : γ _c = 2,48 Kg/dcm ³ P. specifico inerti : γ _i = 2,740 Kg/dcm ³	1/8''	0	9,00	-0,40	—	17,60	0,00	0,00	0,00	0,00	—
			90''	5,00	-2,55	—	7,45	10,15	0,215	0,463	4,2	2,8
Calcestruzzo con aggiunta di plastificante-aerante	Dosaggio cemento : 250 Kg/m ³ Dosaggio acqua : 117 l/m ³ Altezza calcestruzzo: h _c = 45,7 cm. Volume » : V _c = 18,83 dcm ³ Peso » : P _c = 46,35 Kg. P. specifico » : γ _c = 2,46 Kg/dcm ³ P. specifico inerti : γ _i = 2,740 Kg/dcm ³	1/8''	0	—	9,00	-2,50	7,75	0,00	0,00	0,00	0,00	—
			90''	—	15,43	-4,30	13,28	5,53	0,119	0,261	2,3	1,5

dice di segregazione è risultato 0,028 e l'indice di segregabilità 0,019 min.⁻¹.

La seconda tabella riporta i risultati relativi alle prove su due calcestruzzi dosati a 250 Kg/m³ di cemento. Il primo di questi calcestruzzi fu impastato con 137,5 l/m³ d'acqua e diede alla prova VEBE un indice di lavorabilità di 1/8'' Il secondo, di eguale composizione granulometrica, fu impastato con 117 l/m³ di acqua con aggiunta di Frioplast, sempre in proporzione del 0,5 % del peso di cemento, e diede ancora alla prova VEBE un indice di lavorabilità di 1/8''.

L'indice di segregazione relativo al primo impasto per un tempo di vibrazione di 90'' è risultato

0,042 e l'indice di segregabilità 0,028 min.⁻¹, mentre per il secondo impasto, con aggiunta di Frioplast, l'indice di segregazione è risultato 0,029 e l'indice di segregabilità 0,015 min.⁻¹.

I risultati di queste prove sembrano confermare quantitativamente la sensibile diminuzione di segregabilità che, a pari lavorabilità, è possibile realizzare nei calcestruzzi mediante l'uso di sostanze plastificanti ed aeranti.

La diminuzione relativa di segregabilità sembrerebbe alquanto più elevata nel calcestruzzo a minor dosaggio di cemento, ma su questo punto non è possibile pronunciarsi con sicurezza a causa dell'esiguo numero di prove effettuato e per il fatto che si tratta di differenze dello stesso ordine di grandezza della precisione di misura.

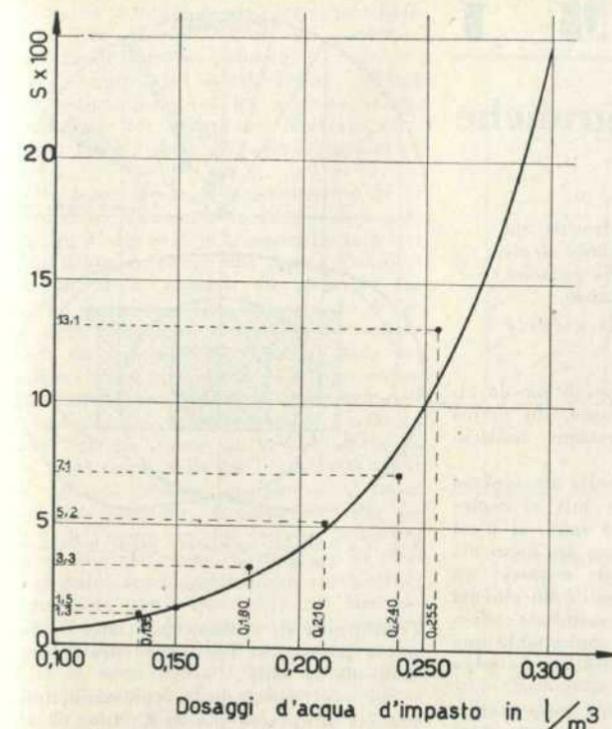


Fig. 11 - Diagramma degli indici di segregazione di un calcestruzzo per 5 min. di vibrazione in funzione delle quantità d'acqua d'impasto.

Abbiamo visto nel paragrafo precedente secondo quale legge la segregabilità di un calcestruzzo diminuisca col diminuire della quantità d'acqua di impasto. È chiaro che la ragione essenziale della diminuzione di segregabilità dei calcestruzzi ottenibile con l'uso di sostanze plastificanti ed aeranti va cercata nel fatto che l'impiego di queste sostanze consente di ridurre sensibilmente, a pari lavorabilità, la quantità d'acqua d'impasto.

Potrebbe essere di un certo interesse effettuare una serie di prove allo scopo di rendersi conto se la diminuzione di segregabilità, ottenibile con l'uso di sostanze plastificanti ed aeranti, derivi soltanto dalla diminuzione della quantità d'acqua d'impasto, che è possibile realizzare a pari lavorabilità, o se invece intervengano anche altri fattori, dovuti per esempio alla presenza dei vuocoli sferoidali limitati da membrane dotate di tensione superficiale, atte quindi ad aumentare la coesione del calcestruzzo (2).

Una sperimentazione completa sull'argomento dovrebbe comportare la determinazione dei diagrammi di variazione degli indici di segregazione in funzione delle quantità d'acqua d'impasto per diversi tipi di calcestruzzi normali, nonché la determinazione, per gli stessi tipi di calcestruzzi, delle variazioni degli indici di segregazione conseguenti

(2) R. L'HERMITE, *Nouveaux procédés de traitement du béton* - Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics, Béton, Béton Armé, n. 17, mars-avril 1951. Vedasi paragrafo: « Influence de l'air entraîné sur les propriétés du béton frais ».

all'aggiunta delle dosi normali di diversi tipi di sostanze aeranti e plastificanti ed alla contemporanea diminuzione della quantità d'acqua d'impasto.

Confrontando le variazioni di segregabilità conseguenti ad eguali diminuzioni della quantità d'acqua d'impasto per i calcestruzzi normali e per i calcestruzzi con sostanze plastificanti ed aeranti, si potrebbe giungere a determinare l'effettiva influenza dei fattori sopra menzionati sulla segregabilità dei calcestruzzi.

Giovanni Tournon

Politecnico di Torino.

BIBLIOGRAFIA

H. L. KENNEDY, *The function of entrained air in concrete* - Journal of the American Concrete Institute, giugno 1943.

V. BÄHRNER, *Anvisning för begagnande av Vebe - apparaten för Konsistens provning* - Svenska Cementforeningen, luglio 1945.

J. FAURY, *Le béton* - Ed. Dunod, 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.

M. VALENTA, *Nouvelles recherches sur la gelivité des bétons - Les Bétons aérés* - Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics, Béton, Béton Armé, n. 3, maggio 1948.

A. AMMAN et BOYRIE, *Le beton aéré* - Genie Civil, 15 giugno 1948.

LE MORVAN, *Les bétons a entrainement d'air* - Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Batiment, luglio 1948.

M. Roš, *Einfluss des Zusatzes von Frioplast auf die bautechnischen Eigenschaften des Betons* - Eidgenössische Materialprüfungs, Zurich, novembre 1948.

BARBEE, *What have we learned about air entraining concrete* - J. American Concrete Institute, aprile 1949, pag. 601.

ROBERT L'HERMITE, *Fabrication et mise en oeuvre du beton* - Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Batiment, aprile 1949.

M. DURIEZ, *Le beton à air occlus* - Travaux, aprile-maggio 1950.

M. DURIEZ, *Traité de Matériaux de Construction*, Tome I, Ed. Dunod, 1950.

ROBERT L'HERMITE, *Nouveaux procédés de traitement du béton* - Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics, Béton, Béton Armé, n. 17, marzo-aprile 1951.

ALFONS AMMAN, *Luftporen Béton* - Schweiz. Bauzeitung, n. 1 e 2, 1952.

M. DURIEZ, *Les adjuvants du béton: plastifiants, entraîneurs d'air et produits colloïdaux* - Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics, Béton, Béton Armé, n. 23, giugno 1953.