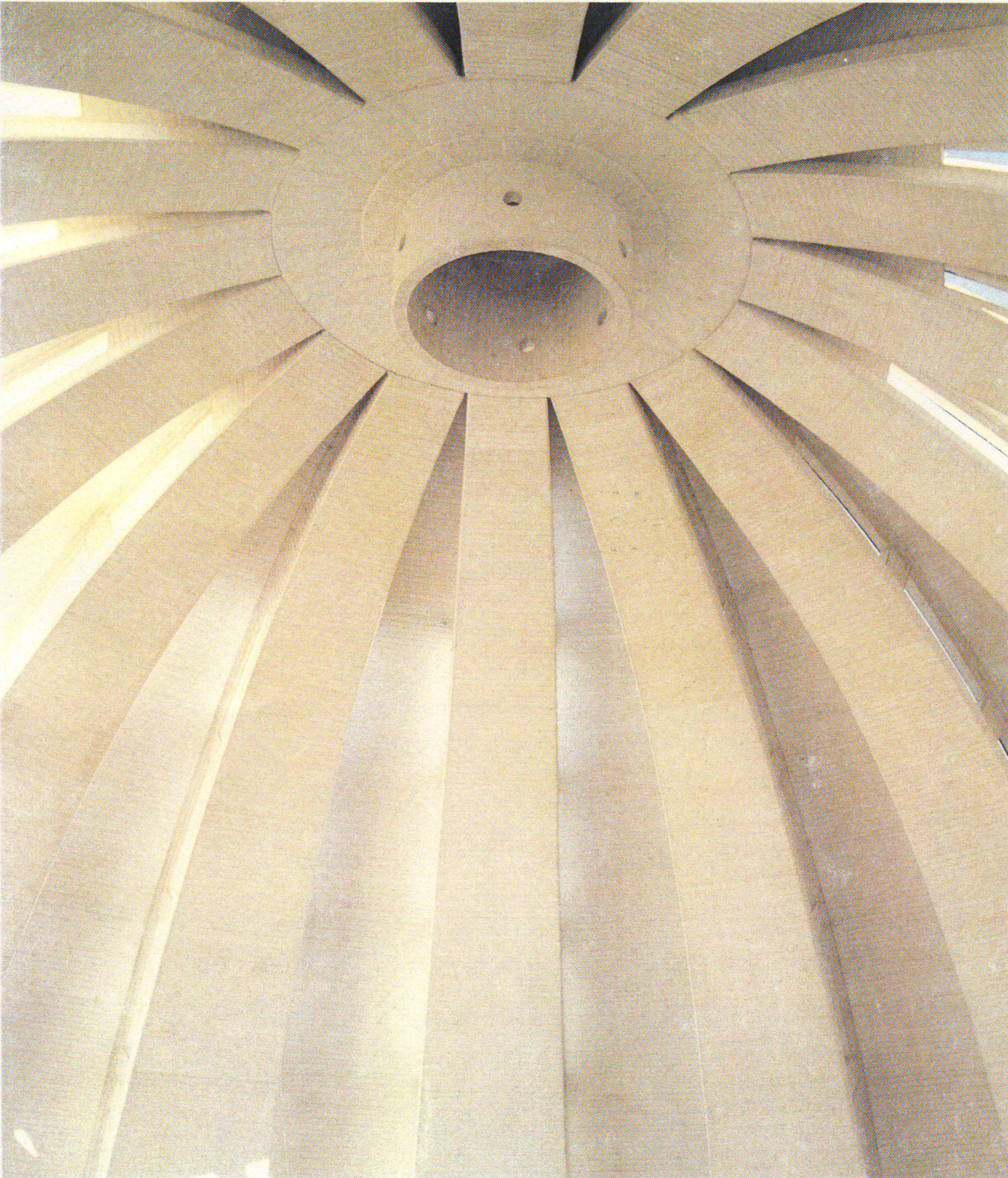


l'industria italiana del CEMENTO



Umidità dell'ambiente di maturazione e resistenza a compressione del calcestruzzo - Nota 1: prescrizioni di norma ed effetti riscontrati

Prof. Vito Alunno Rossetti (*), Dott. Vincenzo Venturi (**)

RIASSUNTO - Si è investigato sull'effetto delle condizioni di maturazione, come previste dalla Norma UNI 6127, sullo sviluppo delle resistenze a compressione di provini di calcestruzzo prelevati da 11 miscele di calcestruzzo. I risultati ottenuti mostrano che le differenze nei valori di resistenza dovute alla conservazione nei diversi ambienti ammessi dalla UNI non sono trascurabili, raggiungendo valori fino al 10%, e che quindi si rende necessaria una revisione della UNI suddetta.

Introduzione

Umidità ambiente e perdita d'acqua delle paste di cemento

Il processo di idratazione del cemento, lo sviluppo delle resistenze ed i fenomeni di ritiro dei conglomerati cementizi, sono fortemente dipendenti dall'umidità relativa (U.R.) dell'ambiente di maturazione. Se l'umidità relativa dell'ambiente è minore del 100%, l'acqua dei pori capillari comincia ad evaporare; la perdita d'acqua avviene con una velocità che dipende sia dalle dimensioni dei pori, che dalla temperatura, e dall'umidità relativa dell'ambiente.

L'andamento della perdita d'acqua in funzione dell'umidità relativa dell'ambiente, come proposto ad esempio da L'Hermite [1], evidenzia la presenza di un'acqua persa facilmente (è l'acqua "libera" presente nei pori capillari) e di un'acqua "trattenuta", parte della quale è "combinata".

Tale modello tuttavia, è eccessivamente schematico e la transizione tra perdita d'acqua libera e perdita d'acqua trattenuta non è certamente associabile ad un singolo valore dell'umidità relativa; ciò è ben evidenziato dalle isoterme di disidratazione di paste di cemento come ad esempio quelle ottenute da Gierz-Hedstrom [2].

Umidità ambientale e normativa sul calcestruzzo

Lo sviluppo della resistenza a compressione dei conglomerati è legato alla presenza di acqua nei pori capillari della pasta di cemento; infatti l'idratazione può avvenire solo se i pori stessi sono saturi d'acqua, non essendo disponibile per la reazione l'acqua contenuta nei pori del gelo.

Ciò implica la ben nota necessità di mantenere umida la superficie dei manufatti in conglomerato cementizio e procedimenti di stagionatura controllata per i provini di calcestruzzo impiegati per la determinazione della resistenza a compressione (e delle altre proprietà del materiale).

Tale necessità è stata recepita, naturalmente, dalle varie normative; tuttavia il limite minimo di umidità indicato come sufficiente per assicurare un corretto sviluppo della resistenza a compressione non è sempre il medesimo.

La ASTM C31 [3] in particolare, molto dettagliata in proposito, fissa il limite minimo di U.R. durante la stagionatura pari a 95%; chiarendo che tale limite può essere ottenuto:

- per immersione in acqua in vasca termostatica;
- nella camera umida i cui requisiti sono fissati dalla ASTM C511-80 [4]; tale norma prevede, fra le altre cose, che l'umidità dell'ambiente sia tale da rendere la superficie dei provini umida tanto alla vista quanto al tatto ("The atmosphere in a moist cabinet or room shall have a temperature of $23 \pm 1.7^\circ\text{C}$ and a relative humidity of not less than 95%. The moisture in the atmosphere shall be saturated to the degree needed to ensure that the exposed surfaces of all specimens in storage will both look moist and feel moist at all time."). La precisazione relativa alla necessità dell'aspetto umido della superficie del provino è constatabile anche per quanto concerne il ritiro. Alunno Rossetti [5] ad esempio, ha ottenuto risultati di ritiro di malte di cemento, che consentono di affermare che se la superficie dei provini non evidenzia un velo di umidità si verifica il fenomeno di ritiro da essiccamento.

Anche la DIN [6] e la BS [7] forniscono indicazioni coerenti con la Norma citata richiedendo la conservazione in acqua dei provini.

La UNI 6127 [8] relativa alle modalità per la preparazione e la stagionatura dei provini di calcestruzzo, non fornisce indicazioni che permettano di giungere a risultati altrettanto univoci, come si rileva esaminando il punto 3.1.1 che fornisce le indicazioni relative alla stagionatura in condizioni di umidità e temperatura definite ($T=20 \pm 2^\circ\text{C}$, U.R. = 90%). Tali condizioni, afferma la norma, "si realizzano in locali opportunamente attrezzati oppure sistemando i provini sotto sabbia o stracci mantenuti umidi oppure in sotterranei o baracche isolate".

Queste indicazioni appaiono insoddisfacenti:

- in quanto non sembra sicuro che la condizione U.R. 90% durante la stagionatura possa evitare a sufficienza il fenomeno dell'evaporazione capillare che ritarda, o al limite arresta, il processo di idratazione della pasta di cemento, con conseguente riduzione dei valori di resistenza a compressione del calcestruzzo;

- in quanto le condizioni di stagionatura ammesse (sotto sabbia, stracci, in baracca), previste evidentemente per permettere l'esecuzione delle prove anche quando non sia possibile disporre di laboratori attrezzati, non forniscono garanzie sufficienti di univocità e ripetibilità dei risultati, come ci si deve attendere da una norma sul controllo di qualità.

Scopo del lavoro

Lo scopo che ci si è prefissato con il presente lavoro è stato

(*) Università degli Studi di Roma "La Sapienza".

(**) Laboratorio Autorizzato Sidercem - Caltanissetta.

quello di individuare l'eventuale influenza delle diverse condizioni di maturazione dei provini, previste dalla norma UNI citata, sulle resistenze a compressione ottenute, a confronto con le condizioni richieste dalla ASTM C31.

Alle condizioni di maturazione controllate, UNI e ASTM, si è anche ritenuto opportuno affiancare la stagionatura in cubiere di polistirolo delle quali, per la notevole praticità ed economia di impiego, si va diffondendo l'uso.

Parte sperimentale

La presente ricerca si è condotta in un arco di tempo di circa sei mesi in Sicilia, prevalentemente nelle province di Agrigento e Caltanissetta.

Sono stati effettuati 11 prelievi da altrettanti impasti confezionati da 8 diverse centrali di betonaggio; nella Tabella 1 i diversi impasti vengono contraddistinti con i numeri di cantiere, da 1 a 11. Per ogni impasto si sono eseguite prove per la caratterizzazione del cemento e degli aggregati; su ogni campione di aggregato prelevato all'impianto sono state eseguite le seguenti prove: granulometria, equivalente in sabbia, Los Angeles.

Per ogni impasto si è altresì caratterizzata la miscela di calcestruzzo (tipo e dosaggio di cemento, tipo di aggregato, diametro massimo dell'aggregato, dosaggio di parti fini, tipo e dosaggio di additivi). Tali dati, relativi ai materiali ed alle miscele, sono stati successivamente utilizzati per determinare i coefficienti totali di influenza per l'applicazione del metodo Sonreb [9].

Nella presente nota sono riportati solo i valori medi o finali dei risultati ottenuti e non le singole letture, valori intermedi e dati dei materiali e delle miscele. Tutti i valori ottenuti sono stati presentati altrove [10].

Confezione e maturazione dei provini

Con il calcestruzzo di ogni prelievo sono stati confezionati 56 provini cubici (cm 15x15x15), 4 per ognuna delle condizioni di maturazione, per i tre periodi di stagionatura previsti, 7, 28 e 90 giorni (con esclusione delle cubiere di polistirolo per le quali si è omessa la stagionatura a 7 giorni). I provini sono stati vibrati a fondo con un vibratore ad ago e quindi rasati e lisciati.

I provini durante le prime 24h venivano sigillati con fogli di polietilene e lasciati in cantiere, dopodiché, trasportati in laboratorio, venivano sformati, siglati e disposti nei rispettivi ambienti di maturazione.

Le condizioni previste dalla ASTM C31 e dalla UNI 6127-73 sono state realizzate disponendo i provini rispettivamente:

- in vasca d'acqua a $20 \pm 2^\circ\text{C}$; la norma ASTM C31 prevede la scelta fra la stagionatura in camera umida con U.R. = 95%, e $T = 23 \pm 1,7^\circ\text{C}$ o in vasca termostatica; nel nostro caso si è optato per quest'ultima ma si è cambiata la temperatura per rendere possibile il confronto con i cubi maturati in camera umida. Nel seguito si è fatto riferimento alla resistenza ottenuta in tali condizioni anche come: 'resistenza ASTM';
- in un locale opportunamente predisposto per il controllo strumentale delle condizioni termo-igrometriche (camera umida con umidità relativa non minore del 90% e temperatura di $20 \pm 2^\circ\text{C}$), in modo da realizzare le condizioni richieste dalla UNI;
- sotto sabbia, mantenuta umida per tutta la durata dell'indagine;
- in una baracca;
- in cubiere di polistirolo conservate nella baracca.

Misure di resistenza a compressione

A partire dalla stagionatura di 3 giorni o 7 giorni, si procede-

va alle prove di schiacciamento sulla prima serie di provini che venivano lasciati 2 ore all'aria, quindi pesati e portati a rottura. Questo procedimento è stato seguito per tutti i provini, con la differenza che a 28 e 90 giorni prima della rottura a compressione sono state eseguite sia le prove sclerometriche (sclerometro Schmidt tipo NR), sia la misura della velocità dell'impulso ultrasonico (apparecchiatura tipo Pundit). I risultati di queste misure sono riportati in un'altra nota [11].

I risultati delle misure di resistenza a compressione per schiacciamento alle varie stagionature e per le differenti condizioni di maturazione, sono riportati nella tabella 1, come valori medi dei risultati ottenuti su 4 provini cubici.

Discussione dei risultati

Nella successiva elaborazione dei risultati ottenuti, la correlazione fra le resistenze ottenute nelle varie condizioni di maturazione rispetto alla resistenza ottenuta nella maturazione secondo ASTM è stata individuata mediante le rette di regressione, calcolate con il metodo dei minimi quadrati.

TABELLA 1

RESISTENZE A COMPRESSIONE SU CUBI, R_c (N/mm²),
VARI AMBIENTI DI MATURAZIONE E STAGIONATURE.

Cantiere	Giorni	Baracca	Sabbia	U.R. >90%	U.R. >95%	Polist.
1	3	25,7	26,2	25,0	24,8	
	7	31,9	30,7	30,8	30,7	
	28	32,2	31,6	36,8	38,5	
2	3	11,5	11,0	12,0	13,1	
	7	14,6	13,7	14,8	17,8	
	28	18,9	17,1	20,6	17,8	
3	28	15,3	16,9	17,1	17,8	18,4
	90	19,0	20,0	19,0	21,0	23,5
4	7	11,1	11,9	13,7	14,2	
	28	16,3	18,6	17,9	20,7	21,5
	90	23,5	24,9	22,0	24,8	27,4
5	7	6,7	7,3	9,1	10,3	
	28	11,3	11,5	16,3	17,7	13,8
	90	20,5	21,4	22,1	22,9	22,3
6	7	14,2	15,1	18,5	19,7	
	28	19,3	22,0	18,9	19,2	18,8
	90	26,8	27,6	26,3	25,8	23,8
7	7	11,4	13,5	14,1	15,3	
	28	13,5	15,9	15,6	16,7	15,5
	90	16,9	20,5	20,9	21,4	20,5
8	7	31,3	28,0	32,4	31,1	
	28	37,1	39,5	40,6	39,4	40,2
	90	39,8	39,7	45,8	41,1	45,1
9	7	12,8	14,6	14,4	15,1	
	28	16,9	19,9	20,0	21,5	21,4
	90	22,4	24,1	25,5	28,4	28,6
10	7	13,3	14,4	15,2	16,8	
	28	18,9	19,9	19,9	20,8	19,8
	90	27,4	29,5	27,4	30,0	28,7
11	7	20,4	19,0	19,4	21,4	
	28	26,6	28,6	28,4	31,3	26,6
	90	28,6	34,9	32,7	36,6	31,1

TABELLA 2

COEFFICIENTI DELLE RETTE DI REGRESSIONE
E COEFFICIENTI DI CORRELAZIONE

Retta di regressione $Y = AX + B$	Coppie di dati	A	B	Coeff. di Correlaz.
ASTM - UNI (UR > 90%)	32	1,038	-18,575	0,980
ASTM - UNI (Sabbia)	32	1,004	-16,857	0,968
ASTM - UNI (Baracca)	32	0,987	-23,026	0,956
ASTM - Polistirolo	18	0,999	-6,656	0,950

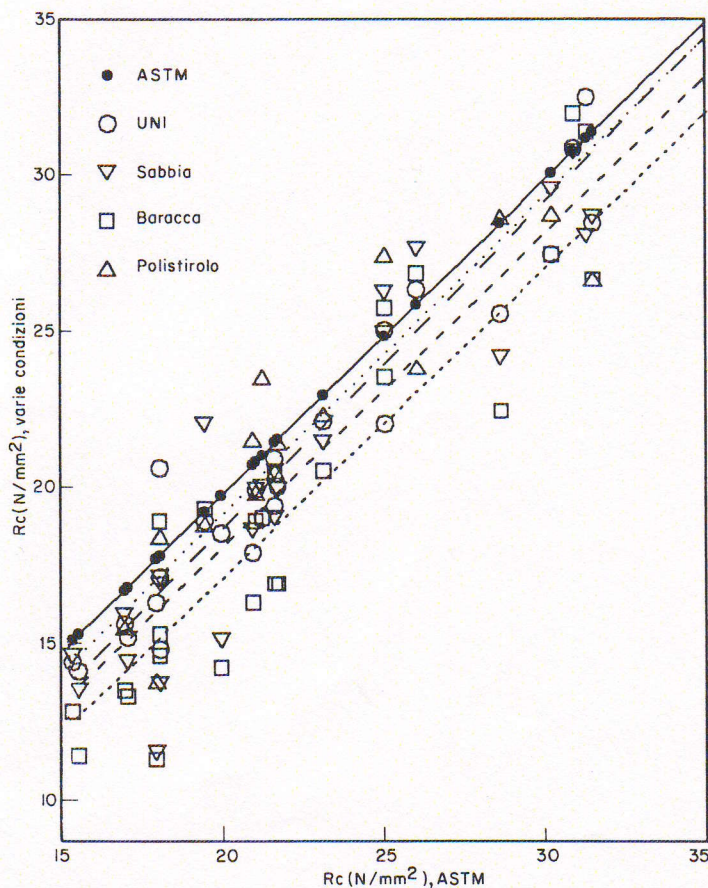
(*) Ogni dato è relativo alla media di 4 provini.

Nella tabella 2 sono riportati i coefficienti A e B delle rette di regressione aventi l'equazione:

$$Y = AX + B$$

individuare per le diverse serie di risultati, ed i relativi coefficienti di correlazione lineare R. I coefficienti risultano tutti superiori a 0,95, indicando un discreto grado di correlazione.

Il grafico della figura 1, relativo ai risultati di resistenza allo schiacciamento riportati in tabella 1, riporta in ascissa il valore di R_c ottenuto per ogni prelievo e tempo di stagionatura nella condizione di maturazione ASTM, considerata di riferimento, ed in ordinata il valore corrispondente (stesso prelievo e stagionatura) ottenuto nelle diverse condizioni di maturazione.



1 - Resistenza a compressione in varie condizioni di maturazione in funzione della resistenza in condizioni di maturazione ASTM: valori e rette di regressione.

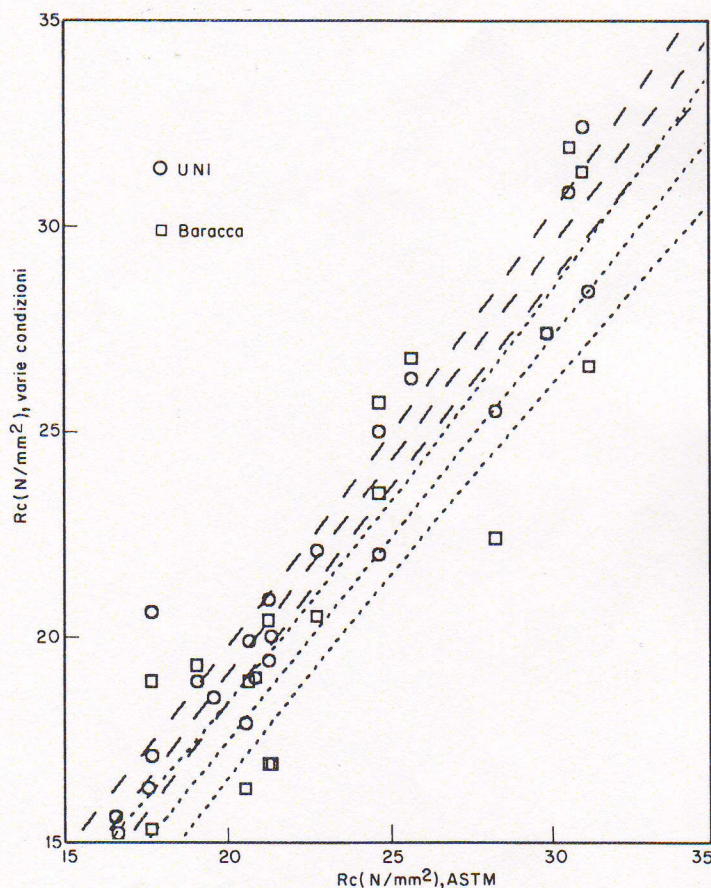
Nel diagramma della stessa figura sono altresì riportati i risultati ottenuti nelle prove insieme alle rette di regressione; appare evidente che le rette di regressione risultano apprezzabilmente separate e parallele tra loro, indicando che le condizioni di maturazione hanno un effetto sulla resistenza a compressione e che tale effetto non dipende dal valore della resistenza a compressione (almeno nel campo di resistenze considerato).

Come peraltro ipotizzato, le rette relative alle condizioni che assicurano ai provini una U.R. minore o variabile durante la stagionatura portano a valori di resistenza a compressione minori rispetto a quelli ottenuti con la maturazione secondo ASTM, con differenze che mediamente oscillano dal 13% (baracca), al 6% per la maturazione sotto sabbia, al 2% (camera umida secondo UNI e polistirolo).

Pur risultando i valori dei coefficienti di correlazione sufficientemente prossimi ad 1 e le rette di correlazione ben distinte, i punti sperimentali appaiono notevolmente dispersi, tanto da rendere necessaria una migliore valutazione della significatività dei risultati ottenuti.

A tal fine si è applicato un metodo statistico [12] che consente di determinare fasce di confidenza per le rette di regressione. Applicando tale metodo, per ciascun valore della resistenza ASTM si ricava un intervallo di confidenza per la retta di regressione relativa ad una determinata maturazione: procedendo in questo modo si ricava per diversi valori di resistenza ASTM una fascia di confidenza per ciascuna retta di regressione.

Ciascuna di tali fasce può essere interpretata affermando che per un determinato valore di resistenza ASTM, la retta di regressione relativa alle misure eseguite su provini maturati in un'altra condizione (ad esempio nella camera umida secondo UNI), eseguendo serie ripetute di misure cadrà nel 93% dei casi nella relativa fascia di confidenza.



2 - Resistenza ottenuta in camera di maturazione UNI (U.R. > 90%) ed in baracca, in funzione della resistenza ASTM: valori, rette di regressione e fasce di confidenza.

Sul grafico della figura 2 sono riportate le due fasce di confidenza al 95% della regressione delle resistenze ottenute in condizioni di maturazione UNI U.R.90% (linee a trattini) e, rispettivamente, in baracca, (linee a puntini) rispetto alle resistenze per maturazione ASTM. Sono state scelte le due rette che risultano meglio differenziate mentre per le altre rette si ha una maggiore sovrapposizione.

Si può rilevare che le fasce suddette sono quasi completamente separate, ad indicare che col 95% di probabilità le due rette di regressione indicano una reale influenza delle condizioni di maturazione sulla misura della resistenza a compressione.

Conclusioni

I risultati che abbiamo illustrato ci consentono di affermare

che lo scopo che ci eravamo prefissi all'inizio del lavoro è stato raggiunto.

Variazioni anche piccole dell'umidità ambiente inducono apprezzabili variazioni della resistenza del calcestruzzo. Inoltre la dispersione dei risultati ottenuti con le stagionature ammesse dalla normativa UNI non è trascurabile.

Appare pertanto che il riferimento normativo (D.M. 27/785, legge 1086) alla UNI 6127-73 sia inadeguato, non rispondente cioè a quei requisiti di univocità propri di una norma, e che sarebbe opportuno prescrivere la maturazione in acqua oppure in ambiente ad umidità relativa maggiore del 95%.

I risultati delle prove ottenute con la stagionatura in cubiere di polistirolo sono risultati, nell'ambito della presente sperimentazione (confronto a partire da 7 giorni, resistenza a compressione del calcestruzzo compresa fra 15 e 35 N/mm²) del tutto soddisfacenti.

BIBLIOGRAFIA

- [1] L'HERMITE R.G.: "Volume Changes of Concrete" Proc. IV Int. Symp. on Chemistry of Cement, Washington (1960).
- [2] GIERZ-HEDSTROM: Zement, 20, 734- (1941).
- [3] ASTM C31 - 85: Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field.
- [4] ASTM C511-85: Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes.
- [5] ALUNNO ROSSETTI V.: risultati non pubblicati.
- [6] DIN 1048: Prüfverfahren für Beton.
- [7] BSI 1881: Methods of Testing Concrete.
- [8] UNI 6127: Provini di Calcestruzzo - Preparazione e stagionatura.
- [9] BOCCA P., F. CIANFRONE: "Le prove non distruttive sui calcestruzzi: una metodologia combinata", L'Ind. Ital. del Cemento, 6,429 (1983).
- [10] V. VENTURI: Tesi di Laurea in Ingegneria Edile, Università di Roma La Sapienza (1989).
- [11] ALUNNO ROSSETTI V.: in corso di pubblicazione.
- [12] ANDERSON R.L.: "Practical Statistics for analytical chemists", pag. 82, Van Nostrand (1987).