

I problemi del ritiro e dell'aderenza nei calcestruzzi leggeri confezionati con inerti di pomice

(Prof. ing. Pasquale Mancuso, dr. ing. Nunzio Miraglia, prof. ing. Vincenzo Ruisi)
(Istituto di Scienza delle Costruzioni - Facoltà di Ingegneria, Palermo.)

1.0 - Presentazione.

E' noto l'interesse sempre crescente nei riguardi dei calcestruzzi leggeri strutturali.

Il loro impiego risulta particolarmente vantaggioso nella prefabbricazione, dove la possibilità di ottenere elementi strutturali di peso contenuto aiuta a risolvere molti problemi connessi con le operazioni di sollevamento e di trasporto.

Evidenti sono inoltre i vantaggi derivanti dall'alleggerimento delle strutture quando si opera in zone sismiche o su terreni di fondazione di scarse caratteristiche di resistenza.

L'utilizzazione dei calcestruzzi leggeri a fini strutturali si giustifica se sono soddisfatte due esigenze fondamentali: l'ottenimento di resistenze caratteristiche adeguate ($\geq 15 \text{ N/mm}^2$) e la possibilità di armare gli elementi che si vanno a fabbricare.

Tutto ciò tenendo conto del ruolo importantissimo che assumono, per questi calcestruzzi, i fenomeni del ritiro e del fluage, la resistenza al gelo, la deformabilità di travi armate e precomprese che si vogliono realizzare.

La possibilità di armare un calcestruzzo leggero richiede che tra questo e l'acciaio di armatura si manifesti una aderenza tale da assicurare la trasmissione delle tensioni di trazione dalle barre di acciaio al calcestruzzo, senza che si verifichi lo slittamento dell'acciaio o che venga meno la protezione di esso nei riguardi della corrosione.

Presso l'Istituto di Scienza delle Costruzioni della Facoltà di Ingegneria di Palermo, con finanziamenti del Ministero P.I., si è avviata una ricerca sperimentale al fine di valutare la possibilità di impiego della pomice proveniente dall'isola di Lipari, per il confezionamento di calcestruzzo strutturale.

Nella prima fase della ricerca, esaminate le caratteristiche fisico-meccaniche della pomice, si è accertato che, con una opportuna dosatura degli inerti di pomice e sostituendo la pezzatura fine di questa con sabbia di frantoio, è possibile ottenere calcestruzzi i cui valori di resistenza caratteristica rientrano nei limiti richiesti per i calcestruzzi strutturali.

In questa fase della ricerca si è indagato sui fenomeni del ritiro e dell'aderenza con l'acciaio.

Si è anche studiato l'impiego di opportuni additivi per migliorarne le caratteristiche fisico-meccaniche e l'aderenza con l'acciaio, e limitare l'entità del ritiro.

2.0 - Impasti impiegati nelle prove.

Lo studio condotto nella prima parte della ricerca ha portato alla individuazione di un impasto ottimale (E-350).

Al fine di migliorare le caratteristiche di resistenza di tale impasto e limitarne il ritiro, la sua composizione è stata successivamente variata con l'aggiunta combinata degli additivi Tiamac 11 (super-fluidificante) e Stabilmac (agente espansivo).

L'impasto ottenuto è indicato con E_a-350 .

Per le prove sono stati adottati gli impasti E-350, E_a-350 ed R-250, essendo quest'ultimo il calcestruzzo ordinario di riferimento, confezionato secondo le norme UNI 10020-71.

La composizione degli impasti è riportata nella Tab. 1, dove sono pure indicati i valori medi relativi alla massa volumica, alla resistenza alla compressione e alla trazione indiretta del

calcestruzzo indurito (i valori si riferiscono a un periodo di maturazione di 28 giorni).

Il valore medio relativo alla lavorabilità dell'impasto (cedimento al cono) è risultato, per gli impasti E-350 ed E_a-350, di 5 cm.

La preparazione e la stagionatura dei provini sono state eseguite secondo le norme UNI 6129 e UNI 7548 parte 2^a.

Le prove a compressione sono state eseguite, in conformità alla norma UNI 6132, su provini cubici di 15 cm di lato.

Le prove a trazione indiretta sono state effettuate su provini cilindrici di altezza 28 cm e diametro 14 cm (UNI 6135).

Vedi allegata : tabella n. 1

3.0 - Prove di ritiro

Per ciascuno degli impasti esaminati sono stati confezionati quattro provini di 10x10x50 cm.

Su tali provini, lasciati stagionare nel rispetto delle Norme UNI 6127, sono state effettuate le misure del ritiro libero nel tempo, da 2 a 270 giorni.

Per il rilevamento delle variazioni di lunghezza è stata utilizzata una apparecchiatura tipo Amsler, con sensibilità di lettura minima di 5 µm/m, come prescritto dalle Norme UNI 6555.

Vedi allegata : figura n. 1 dove è riportato, per ciascun impasto, l'andamento del ritiro libero nel tempo e i valori del ritiro si riferiscono alla media di quattro letture su ciascun provino.

Come si osserva dall'andamento dei diagrammi, per i due impasti con inerti di pomice la fase del ritiro è preceduta da una fase di espansione.

Questo fenomeno, che non si manifesta nel calcestruzzo ordinario, è provocato dall'acqua di pre-umidificazione la quale, ceduta dagli inerti, rimpiazza inizialmente quella che evapora dalla pasta di cemento durante l'essiccazione.

La fase di espansione si esaurisce dopo i primi tre giorni, ed è più accentuata nel calcestruzzo additivato (E_a-350), anche per la presenza in esso dell'additivo Stabilmac.

Si ha quindi l'inizio della fase di ritiro, il quale si può considerare raggiunga l'85÷90% del valore finale nei primi 270 giorni di maturazione.

I fattori che principalmente influenzano il ritiro, oltre all'umidità relativa dell'ambiente e alla forma e alle dimensioni dell'elemento confezionato, sono la qualità (rapporto acqua/cemento e, in misura minore, tipo di cemento) e la quantità della malta cementizia impiegata, la natura (porosità e modulo elastico) e la granulometria dell'aggregato, la presenza di armature.

In particolare, il tipo di aggregato impiegato per il confezionamento dei calcestruzzi leggeri condiziona i valori finali del ritiro, in quanto i granuli esercitano una resistenza al ritiro della malta di cemento.

La malta di cemento, a sua volta, è quantitativamente dosata in funzione anche della natura (forma e struttura superficiale) dell'inerte, al fine di ottenere una prefissata resistenza e un voluto grado di lavorabilità del calcestruzzo.

I valori di ritiro ottenuti per l'impasto E-350 (0,40 mm/m a 270 giorni) possono ritenersi accettabili per gli usi normali.

Essi sono comparabili a quelli rilevati per prove eseguite su calcestruzzi leggeri con inerti di argilla espansa (0,65 mm/m a 270 giorni) aventi caratteristiche di resistenza prossime a quelle del calcestruzzo E-350.

Per l'impasto E_a-350 i valori ottenuti (circa 0,15 mm/m a 270 giorni) sono addirittura della stessa grandezza di quelli che si richiedono per un buon calcestruzzo ordinario.

4. Prove di aderenza.

L'aderenza tra acciaio e calcestruzzo è condizionata essenzialmente da tre fattori: l'adesione dovuta alle proprietà collanti della pasta di cemento, l'attrito dovuto all'azione di serraggio che il calcestruzzo, ritirandosi, esercita sull'acciaio, la resistenza del calcestruzzo agli sforzi di taglio che le sporgenze, o le irregolarità, della superficie dell'acciaio esercitano sul calcestruzzo a contatto.

Su tali fattori hanno influenza, principalmente: la forma della superficie dell'armatura, le caratteristiche di resistenza del calcestruzzo e il suo costipamento intorno alle barre, la resistenza dei granuli dell'inerte sotto carichi concentrati, il modulo di elasticità del calcestruzzo.

Diversi sono i tipi di prova che consentono di determinare le caratteristiche di aderenza tra l'acciaio e il calcestruzzo.

Quella cui si è ricorso in questa ricerca è il « Beam-test » secondo le norme UNI - CNR 120-71.

Tale prova si utilizza normalmente per valutare l'aderenza delle barre ad aderenza migliorata con un calcestruzzo di riferimento (quello qui denominato R-250), ed è prescritta dal regolamento per l'accettazione delle suddette barre.

Nel nostro caso, dovendo caratterizzare le caratteristiche di aderenza del calcestruzzo con inerti di pomice, si è preso come riferimento il tipo di armatura, e con esso si sono provati i vari impasti, compreso quello R-250, al fine di avere un termine di confronto.

L'acciaio adoperato, denominato « artiglio », è del tipo ad aderenza migliorata ad alto limite elastico.

Si sono adottate barre con diametro nominale 12 e 20 mm.

Per le prove sono state impiegate macchine oleo-dinamiche del tipo Mohr-Federhaff, che hanno consentito l'applicazione dei carichi con l'approssimazione di 10 Kg.

Per ciascun impasto sono state eseguite quattro prove, due utilizzando barre di diametro $d = 12$ mm, e due barre con $d = 20$ mm.

Nel corso di ciascuna prova si è rilevato il relativo diagramma carichi-scorrimenti.

Si è quindi determinato, per ogni valore di scorrimento, il valore della tensione tangenziale di aderenza τ_d (supposta uniformemente ripartita su una lunghezza pari a $10 d$) dal rapporto tra lo sforzo di trazione « S » nella barra e la superficie di aderenza:

$$\tau_d = \frac{S}{4 \pi d \times 10 d} = \frac{\sigma_a \pi d^2}{40 \pi d^2} = \Phi \frac{P}{40 A}$$

essendo σ_a la tensione di trazione nell'acciaio, «P» il carico complessivo sul provino, «A» l'area effettiva della sezione trasversale della barra, Φ un coefficiente che assume il valore 1,25 per $d=12$ mm ($d < 16$ mm), e 1,5 per $d=20$ mm ($d > 16$ mm).

Vedi allegata : tabella n. 2

Nella Tabella 2 sono riportati, per ciascun impasto, i valori medi τ_d delle tensioni di aderenza corrispondenti a scorrimenti di 0,01 mm, 0,1 mm e 1 mm, la media di tali valori τ_m , e i valori τ_r della tensione massima di aderenza.

Le norme richiedono che sia:

$$\tau_m > \tau_m^* = 80 - 1,2 d$$

Con le barre adoperate risulta $\tau^*_m = 65,6 \text{ Kgf/cm}^2$ per $d = 12 \text{ mm}$, e 56 Kgf/cm^2 per $d = 20 \text{ mm}$. Pertanto, per tutti gli impasti esaminati, i valori rilevati soddisfano le condizioni prescritte dal regolamento.

Vedi allegata : figura n. 2,3,4.

Esse illustrano le caratteristiche di aderenza degli impasti con barre $\Phi 12$ e $\Phi 20$, dove le linee a tratto sottile si riferiscono alle prove con barre $\Phi 20$;

Nella figura 2 sono riportati i diagrammi scorrimenti-tensioni di aderenza;

Nella figura 3 i diagrammi scorrimenti-rapporti τ_d/σ_b , essendo σ_b la resistenza a compressione del calcestruzzo in esame;

Nella figura 4 i diagrammi scorrimenti-rapporti τ_d/τ_{R-250} , essendo τ_{R-250} i valori delle tensioni di aderenza relativi al calcestruzzo di riferimento.

Dall'analisi dei risultati ottenuti si può ritenere buono il comportamento del calcestruzzo leggero con inerti di pomice ai fini dell'aderenza con l'acciaio.

Esso risulta migliore in presenza delle barre di diametro minore ($d = 12 \text{ mm}$), presumibilmente perché in queste ultime le sporgenze delle nervature, essendo più piccole, trasmettono agli inerti più basse forze concentrate.

Risulta quindi inferiore la possibilità di tranciamento degli inerti.

In generale è dunque opportuno non impiegare barre con diametro maggiore di $20\div 22 \text{ mm}$. Evidente è l'influenza degli additivi impiegati nella presente ricerca sull'aderenza.

Come mostra per la fig. 2, per l'impasto additivato i valori delle tensioni di aderenza risultano maggiori di quelli del calcestruzzo di riferimento.

Più in generale si può dire che, come si evince dalla fig. 3, nei calcestruzzi leggeri l'esigenza di disporre di una migliore qualità della matrice di cemento, rispetto a quella necessaria per un calcestruzzo ordinario di pari caratteristiche di resistenza, può portare a valori dell'aderenza superiori rispetto a quello che si ottiene con quest'ultimo.

5.0 – Conclusioni.

Le prove effettuate mostrano un comportamento soddisfacente dei calcestruzzi con inerti di pomice (impasto E-350) nei riguardi del ritiro e dell'aderenza.

I valori riscontrati, insieme alle caratteristiche di resistenza già rilevate, sono tali da rendere possibile l'impiego del calcestruzzo leggero con inerti di pomice quale calcestruzzo leggero strutturale.

L'impiego combinato degli additivi super-fluidificante e stabilizzante ha prodotto, oltre che un aumento delle caratteristiche di resistenza, un consistente miglioramento del comportamento nei riguardi del ritiro e dell'aderenza.

I risultati finora ottenuti possono, tra l'altro, costituire una guida per l'estensione della normativa sui calcestruzzi leggeri strutturali, che attualmente riguarda solo quelli confezionati con inerti leggeri artificiali.

Nel prosieguo della ricerca si intendono verificare la possibilità operativa e i limiti di realizzazione di strutture reali, armate e non, in calcestruzzo leggero di pomice.