



Dario Flaccovio Editore

Mario Catania

SFONDELLAMENTO DEI SOLAI IN LATERO-CEMENTO

[Scheda sul sito >](#)

Calcolo delle azioni agenti sui blocchi di solaio
e dello S.L.E. per deformazione



Sicurezza e Norme ✓
Impiego del laterizio nei solai ✓
Aspetti del calcolo e dell'esecuzione dei solai misti ✓
Prove sulle argille crude, sulle argille cotte e sui blocchi ✓

Mario Catania

Sfondellamento dei solai in latero-cemento

**CALCOLO DELLE AZIONI AGENTI SUI BLOCCHI DI SOLAIO
E DELLO S.L.E. PER DEFORMAZIONE**



Dario Flaccovio Editore

Mario Catania

SFONDELLAMENTO DEI SOLAI IN LATERO-CEMENTO

ISBN 9788857903255

© 2014 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686

www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Prima edizione: settembre 2014

Catania, Mario <1933->

Sfondellamento dei solai in latero-cemento : calcolo delle azioni agenti sui blocchi di solaio e dello S.L.E. per deformazione / Mario Catania. - Palermo : D. Flaccovio, 2014.

ISBN 978-88-579-0325-5

1. Solai misti.

624.17 CDD-22

SBN Pal0272999

CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Stampa: Tipografia Priulla, Palermo, settembre 2014

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

INDICE

Premessa

Ringraziamenti

1. La sicurezza e le norme

1.1. La situazione normativa	pag. 13
1.1.1. Il D.P.R. 380/2001.....	» 14
1.1.2. Le norme sulla salute e sicurezza nei luoghi di lavoro	» 14
1.1.3. Altre normative sulla sicurezza degli edifici.....	» 15
1.2. La valutazione dei rischi derivanti da solai e controsoffitti	» 16
1.3. La normativa per le costruzioni in zona sismica	» 16
1.4. Le Norme Tecniche per le Costruzioni	» 20
1.4.1. Le norme tecniche riguardanti i solai.....	» 21
1.4.1.1. Estratto dal D.M. 09 gennaio 1996	» 21
1.4.1.2. Estratto dal D.M. 14 settembre 2005 (NTC 2005) .	» 27
1.4.1.3. Estratto dalle NTC 2008.....	» 29
1.4.1.4. Estratto dalla Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 2 febbraio 2009, n. 617....	» 30
1.5. Considerazioni sull'evoluzione e lo stato delle norme italiane	» 32
1.6. Eurocodici ed altre norme	» 35

2. L'impiego del laterizio nei solai

2.1. Gli inizi dell'uso del laterizio nei solai.....	» 37
2.2. Il solaio in c.a. e laterizio.....	» 39

3. Il distacco della cartella inferiore dei blocchi di alleggerimento dei solai (sfondellamento)

3.1. Le origini del fenomeno.....	» 47
3.2. La normativa italiana	» 52
3.3. Lo sfondellamento dei solai: definizione e generalità.....	» 53
3.4. Il solaio e l'organismo strutturale.....	» 54

4. Evoluzione degli studi del fenomeno

4.1. Le indagini	» 57
4.1.1. Qualificazione dei laterizi	» 58
4.2. Rilevazioni in cantiere sulle cause principali degli sfondellamenti	» 60
4.2.1. Difetti di esecuzione.....	» 60
4.2.2. Errata concezione dei blocchi	» 63

4.3. Altre cause principali degli sfondellamenti	»	65
4.3.1. Errori o difetti di progettazione strutturale	»	65
4.3.2. Cattiva qualità dei materiali	»	68
4.3.3. Cattiva esecuzione del lavoro.....	»	68
4.3.4. Sollecitazioni strutturali non previste.....	»	73
4.4. Sfondellamento dovuto all'inserimento di parti appese	»	74

5. Aspetti del calcolo e dell'esecuzione dei solai misti

5.1. Del progetto statico del solaio	»	75
5.1.1. Verifica alle azioni locali	»	75
5.1.1.1. Verifica al punzonamento	»	75
5.1.1.2. Verifica della connessione delle nervature	»	77
5.1.1.3. Verifica della sollecitazione tagliente sul blocco (taglio longitudinale).....	»	83
5.1.2. Problemi di congruenza e deformazioni	»	84
5.1.3. Problemi di calcolo (esempio di analisi).....	»	88
5.2. Alcuni casi significativi riscontrati nella pratica professionale.....	»	102
5.3. Ulteriori considerazioni pratiche derivanti dall'esperienza professionale	»	105
5.4. Sintesi degli accorgimenti progettuali ed esecutivi.....	»	107

6. Prove sulle argille crude, sulle argille cotte e sui blocchi

6.1. Elencazione delle prove	»	111
6.1.1. Prove geotecniche sulle argille crude.....	»	111
6.1.2. Prove chimiche.....	»	111
6.1.3. Prove fisiche.....	»	111
6.2. Prove finalizzate a determinare le possibili cause della insorgenza di micro fessure nei setti interni dei forati.....	»	112
6.2.1. Prove su argille crude.....	»	113
6.2.1.1. Analisi fisiche.....	»	113
6.2.1.2. Analisi chimiche.....	»	114
6.2.1.3. Considerazioni sui risultati delle analisi chimiche...	»	114
6.2.1.4. Analisi fisiche.....	»	114
6.2.2. Prove sulle argille cotte.....	»	117
6.2.2.1. Considerazioni sulle prove meccaniche.....	»	118
6.2.3. Prove sui blocchi, su campioni da essi estratti e su elementi composti. Loro utilità per il progetto dei blocchi	»	121
6.2.3.1. Prove su argille cotte e su blocchi.....	»	122
6.2.3.2. Prove speciali su campioni composti.....	»	122

6.2.3.3. Modalità di svolgimento delle prove	» 122
6.3. Commento delle prove.....	» 123

7. Rilevamento dei sistemi reali in rapporto ai fenomeni di sfondellamento

7.1. Accertamento delle cause di sfondellamento	» 127
7.2. Proposta di scheda di rilevamento	» 129

APPENDICE 1

Considerazioni e dati su un gruppo di prove su blocchi e sistemi	» 133
--	-------

APPENDICE 2

Prove icite	» 169
-------------------	-------

Premessa

Negli anni Sessanta del secolo scorso si accentuò in modo eccessivo il fenomeno del distacco della cartella inferiore dei blocchi in laterizio nei solai in latero-cemento. Furono molti a chiedersi le ragioni di questi eventi. Molti articoli furono pubblicati sull'argomento da riviste tecniche e si tennero anche molti convegni sul tema. In alcune sedi universitarie furono condotte ricerche sperimentali atte ad indagare su alcuni aspetti del fenomeno.

Nel 1976 io scrivente e il prof. Gian Michele Cocchi pubblicarono uno studio sul comportamento di solai in latero-cemento armato collaboranti con travi in cemento armato precompresso [14]. Nel 1984 gli stessi autori presentarono al Congresso del C.T.E. di Firenze uno studio riguardante il progetto ottimale dei solai in c.a. e laterizio [37].

Nel 1984 io e Filiberto (detto Berto) Finzi pubblicammo una sintesi dei nostri studi e delle nostre esperienze professionali sull'argomento [36]. Dopo quel lavoro altre sperimentazioni vennero eseguite da Berto Finzi [26], [31], [32].

Nacquero accesi dibattiti, anche perché il fenomeno dello sfondellamento ha coinvolto notevoli interessi economici, portando al fallimento di alcune importanti ditte. Esiste oggi in Italia un notevole patrimonio immobiliare pubblico e privato realizzato con solai in latero-cemento. Questo tipo di solaio, per i suoi innegabili e innumerevoli vantaggi, trova larghissima applicazione soprattutto nell'edilizia residenziale, terziaria e dei servizi.

Nel frattempo vi è stato un indubbio progresso sia nella produzione di qualità dei blocchi sia nella progettazione e nell'esecuzione di questi solai.

Da allora si sono verificati nuovi fenomeni di distacco anche di intonaci e di alcune tipologie di controsoffitti e sono uscite nuove norme relative alla sicurezza sismica, al fuoco, all'acustica ecc.

Ho quindi ritenuto utile riprendere l'argomento e svilupparlo in maniera più approfondita.

Determinante è l'attività di monitoraggio dell'esistente che acquista valore di attività autonoma e dovuta per accertare l'esistenza o meno di stati di pericolo. Nicola Salvadori ha sviluppato l'approfondimento delle tecniche di monitoraggio mediante battitura implementata da una registrazione sonora della risposta.

Altri insieme alla battitura hanno cercato di monitorare i solai con l'ausilio di una termocamera.

Ovviamente il presente testo non pretende di esaurire l'argomento sia riguardo ai fenomeni che riguardo alle tecniche d'intervento. Scopo del testo non è quello di sconsigliare l'impiego dei blocchi in laterizio per solai, ma solo quella di prendere conoscenza di un rischio dovuto ad errori del passato e di suggerire alcune procedure di buona tecnica, per evitare il ripetersi di questi fenomeni in relazione al patrimonio esistente. La scelta di materiali qualificati, una corretta progettazione e l'esecuzione a regola d'arte sono sicuramente fattori determinanti affinché i fenomeni di distacco della cartella inferiore dei solai non debbano più verificarsi in futuro. Più difficile è il controllo delle modalità di utilizzo delle strutture da parte degli utenti e delle modificazioni delle situazioni ambientali e delle destinazioni d'uso (è norma prudenziale accompagnare il verbale di consegna di una qualunque unità immobiliare con un manuale di corretto uso da dare agli acquirenti o agli affittuari, chiedendo la contestuale firma di una ricevuta; non è sufficiente il manuale della manutenzione previsto dal comma 1, lettera b) dell'art. 91 del D.Lgs. 81 del 9 aprile 2008, che riguarda la gestione in sicurezza dei successivi lavori di manutenzione). Da questo punto di vista è interesse comune accrescere le conoscenze e divulgarle al fine di rendere più matura e consapevole l'utenza. Saremo grati a chi vorrà segnalarci errori, sviste ed eventuali integrazioni.

Ringraziamenti

Ringrazio l'Editore Dario Flaccovio che mi ha dato l'occasione di riprendere l'argomento e di pubblicare un aggiornamento del precedente lavoro, aggiornamento che tiene conto del calcolo agli stati limiti previsto dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni (attualmente Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. Infrastrutture del 14 gennaio 2008 pubblicato sul supplemento ordinario della G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008, ed entrate in vigore il successivo 19 febbraio) e ringrazio tutti coloro che con i loro studi e il loro lavoro hanno contribuito ad accrescere le conoscenze sull'argomento ed in particolare Filiberto Finzi e Gian Michele Cocchi. Ringrazio l'ing. Paolo Magnetti per il contributo dato nella iniziale fase sperimentale sviluppata presso il laboratorio dell'allora Istituto di Costruzioni e Ponti del Politecnico di Milano, diretto a quell'epoca dal prof. Sandro Dei Poli. Un ringraziamento infine a mia moglie Graziella Ronco per la pazienza e la costanza con cui mi ha accompagnato in questi, ad oggi, cinquant'anni di matrimonio.

1. La sicurezza e le norme

1.1. La situazione normativa

Dopo i disastri della seconda guerra mondiale, nel mondo è cresciuto il bisogno di sicurezza, insieme al desiderio profondo di un lungo periodo di pace e al desiderio di unità tra i popoli. Nel campo delle costruzioni civili la risposta a tale bisogno si è manifestata con la nascita di associazioni e organismi internazionali quali il C.E.B., il C.I.B., la F.I.P., lo I.A.B.S.E. e nel nostro paese il C.T.A., l'A.I.C.A.P. (ad oggi ATECAP), il C.T.E., l'ASSIRCO, l'A.T.E. ecc., che, insieme alle associazioni di categoria degli imprenditori, hanno contribuito ad un imponente lavoro di adeguamento normativo.

Il progresso ha favorito lo sviluppo di scambi culturali. Sono nate le prime norme d'indirizzo sovranazionale che hanno favorito la convergenza delle normative. Così oggi determinati criteri di sicurezza sono comuni non solo ai paesi dell'Europa unita, ma a tutti i paesi del mondo.

Nel 1973 Allin Cornell scriveva:

“La sicurezza delle costruzioni non è una grandezza fisica misurabile. Essa è piuttosto la qualità che si attribuisce a determinate opere od a determinati progetti, dei quali si conosce con certezza che essi sono stati studiati da professionisti sufficientemente informati della natura dei carichi e del comportamento delle costruzioni per essersi mostrati sufficientemente prudenti nello svolgimento della loro attività nella ricerca della riduzione del costo iniziale dell'opera.

Il 'sufficientemente prudente' presuppone che questi professionisti hanno tenuto conto – in quanto era conveniente farlo – del carattere imperfetto ed incompleto di tutte le informazioni riguardanti i carichi, i materiali e le opere.”¹

L'esperienza mostra che il primo vero pericolo per la sicurezza è dato dalla non conoscenza dei rischi e degli eventi che possono manifestarsi nel corso della vita di una costruzione o dall'averne sottovalutato la pericolosità. Questo principio è ormai operativo e normato nell'ambito della sicurezza sul lavoro ed è diventato operativo nella normativa sulle strutture con l'introduzione del calcolo agli stati limite.

¹ Allin Cornell C., Jad. B., *Probability, Statistics, and Decision for Civil Engineers*, Stanford 1970.

Se non si ha questo tipo di conoscenza, non si prendono tutti quei possibili e adeguati provvedimenti atti ad evitare, se non i fenomeni, almeno le loro conseguenze dannose.

Vivere in sicurezza nella propria casa, nel luogo di lavoro, nella scuola e negli altri edifici pubblici è un'esigenza di noi tutti.

1.1.1. Il D.P.R. 380/2001

Per quanto riguarda non solo la casa, ma ogni tipo di abitazione edile, tutta la materia è stata regolamentata con il D.P.R. del 06 giugno 2001, n. 380: *Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia*.

L'art. 4 del D.P.R. 380/2001 prescrive:

“Il regolamento che i Comuni adottano ai sensi dell'art. 2, comma 4, deve contenere la disciplina delle modalità costruttive, con particolare rispetto delle normative tecnico-estetiche, igienico-sanitarie, di sicurezza e vivibilità degli immobili e delle pertinenze degli stessi.”

Per potere abitare nella propria casa occorre il certificato di agibilità; l'art. 24 del D.P.R. 380/2001 recita:

“1. Il certificato di agibilità attesta la sussistenza delle condizioni di sicurezza”.

L'art. 25 dello stesso D.P.R. prescrive che per il rilascio del certificato di agibilità occorre il “certificato di Collaudo statico della costruzione di cui all'articolo 67” (comma 3, lettera a).

Tutto il Capo IV del D.P.R. 380/2001 è dedicato alle costruzioni e in particolare alle costruzioni in zona sismica.

Il decreto 380 del 2001 ha recepito al suo interno le norme quadro della legge 7 novembre 1971 n. 1086 e della legge 5 febbraio 1974 n. 64.

1.1.2. Le norme sulla salute e sicurezza nei luoghi di lavoro

Nei luoghi di lavoro la gestione della sicurezza era normata sino dal 1955 (D.P.R. 27 aprile 1955 n. 547 e successivo D.P.R. 07 gennaio 1956 n. 164 e poi normata dal D.Lgs. del 19 settembre 1994 n. 626 e, nel caso di interventi di manutenzione straordinaria, dal D.Lgs. 14 agosto 1996 n. 494 e successive integrazioni e modificazioni). Le norme attualmente vigenti sono quelle del Decreto Legislativo 09 aprile 2008 n. 81, aggiornato con le modifiche introdotte dalle leggi 02 agosto 2008 n. 129, 06 agosto 2008 n. 133, 27 febbraio 2009 n. 14 e dal decreto legislativo 03 agosto n. 106.

La gestione della prevenzione nei luoghi di lavoro è regolamentata dal Capo III e prescrive tra l'altro che venga effettuata una valutazione dei rischi, l'attivazione di *Servizio di prevenzione e protezione dai rischi* e la presenza del *responsabile del servizio di prevenzione e protezione*. Ogni azienda, ma anche ogni condo-

minio, istituto scolastico, ospedaliero, ogni ufficio pubblico, in quanto luogo di lavoro, deve essere dotato del Piano di sicurezza per l'organizzazione, la gestione ed il controllo della stessa. Il contenuto principale del piano è quello relativo alla valutazione dei rischi cui segue l'individuazione delle misure di prevenzione e protezione comprese quelle opportune per garantire nel tempo il miglioramento dei livelli di sicurezza.

1.1.3. Altre normative sulla sicurezza degli edifici

Vi sono poi da rispettare delle normative specifiche sulla sicurezza in funzione della destinazione d'uso e dell'impiego dei vari organismi costruttivi.

Queste normative riguardano lo svolgimento sia di corretto utilizzo che di monitoraggio e controllo dello stato di salute e della rispondenza dello stesso alle norme, sia l'adeguamento degli stessi alle nuove norme.

Per quanto riguarda i condomini il responsabile di questa attività è l'amministratore. Per gli edifici privati la responsabilità è della proprietà dell'immobile, che è chiamata ad operare direttamente o per il tramite di persone o ditte competenti espressamente delegate dalla proprietà, dotate dei mezzi e dei poteri necessari congruamente retribuita a tale scopo.

Per quanto riguarda le aziende, responsabile è il datore di lavoro.

Per quanto riguarda la scuola, la responsabilità è del dirigente scolastico (che assume il ruolo di datore di lavoro) mentre proprietaria dei locali è l'amministrazione locale (Comune, Provincia). In particolare il D.M. 26 agosto 1992 riguardante le norme per la prevenzione incendi degli edifici scolastici fissava il termine di cinque anni dalla sua entrata in vigore per la messa in regola di questi edifici. Com'è noto ragioni di bilancio delle amministrazioni non hanno ancora reso totalmente possibile questo adempimento. Per quanto riguarda l'edilizia scolastica, particolare attenzione va posta anche a quanto disposto dalla legge dell'11 gennaio 1996 n. 23, sia per quanto attiene alla realizzazione di nuovi edifici scolastici, sia per quanto riguarda la riqualificazione e l'adeguamento del patrimonio esistente. Questa normativa dopo il terremoto di Giulianova, dove il crollo dell'edificio scolastico ha coinvolto un'intera classe con la sua insegnante, è stata aggiornata sia per quanto riguarda la sicurezza alle azioni sismiche che per gli altri aspetti riguardanti la regolarità degli impianti, la sicurezza contro gli incendi e la regolarità dei luoghi sicuri e delle vie di fuga, l'eliminazione delle barriere architettoniche ecc.

Per quanto riguarda la sicurezza negli ospedali, le responsabilità sono più articolate perché la sicurezza si riferisce anche agli aspetti dell'attività specifica. Ma la responsabilità riguardante le opere edili fa capo al direttore amministrativo, al presidente e alla proprietà.

Anche per gli impianti sportivi esistono norme specifiche per la sicurezza.

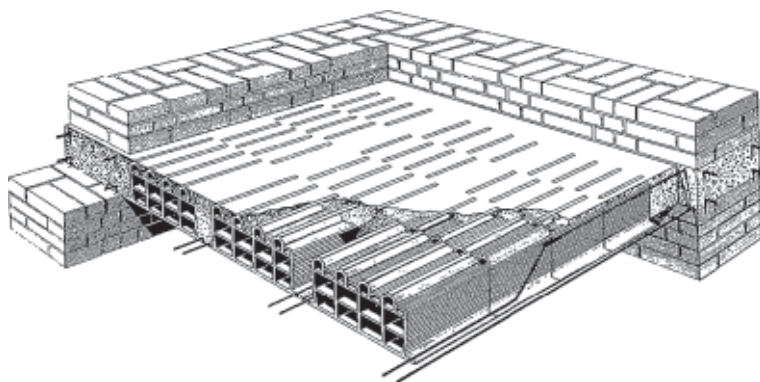


Figura 2.7. Blocchi in laterizio poggiati su cassero piano

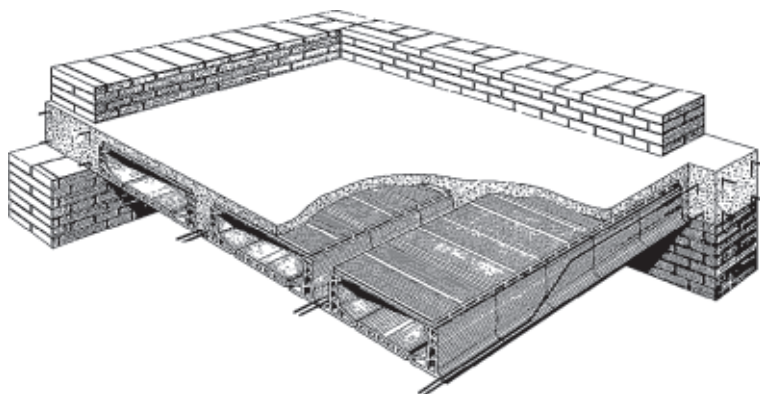


Figura 2.8. Solaio con alleggerimenti in laterizio composti da elementi ad L e tavelloni

Questa pratica è ancora in uso ai nostri giorni, anche se oggi sono stati realizzati alleggerimenti con elementi in materia plastica reimpiegabili e, con minor successo, con elementi in legno compensato d'origine prevalentemente canadese. Nella seconda metà degli anni '20 cominciarono anche ad essere prodotti degli elementi di solaio ottenuti con l'uso di blocchi in laterizio di forma particolare in modo da ottenere dei veri e propri travetti che avevano una larghezza tra i 20 e i 25 cm (figura 2.9).

Alcune ditte hanno anche sviluppato dei blocchi di laterizio per solai ad armatura incrociata; questa tipologia di solai oggi è prevalentemente costruita o a soletta piena oppure impiegando dei casseri in materia plastica (figura 2.10).

Negli anni successivi alla seconda guerra mondiale, con una maggiore diffusione delle tecniche di prefabbricazione, accanto alla produzione di travetti prefabbricati in cemento armato normale (figure 2.11a e 2.11b), in cemento armato pre-

compresso (figure 2.12a, b, c), in cemento e laterizio con tralicci metallici, si è sviluppata anche una notevole produzione di pannelli di solaio in calcestruzzo e laterizio sia in cemento armato normale che precompresso (figura 2.13).

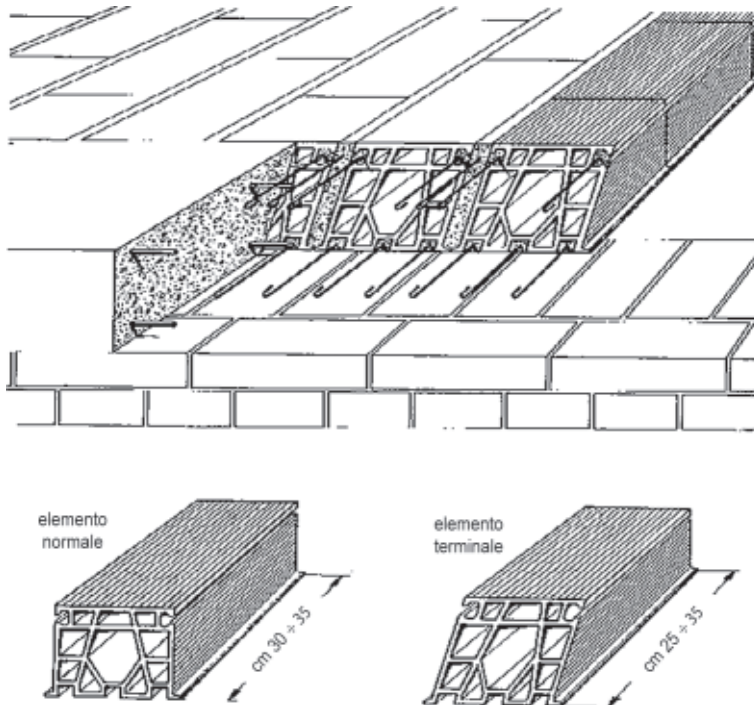


Figura 2.9. Solaio con travetti portanti in laterizio. Nelle realizzazioni iniziali armati con acciaio da 4 mm

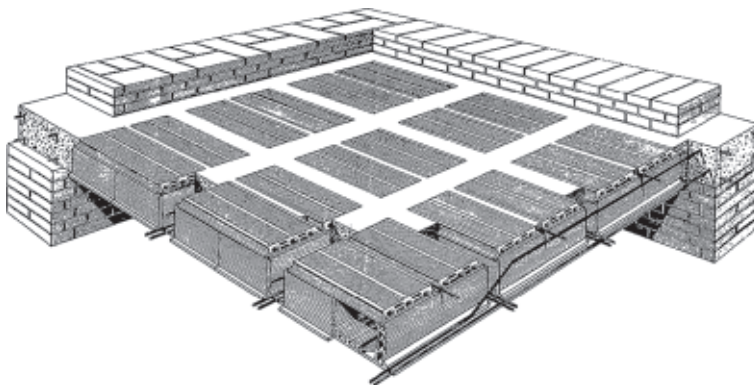


Figura 2.10. Solaio in laterizio e c.a. ad armatura incrociata. L'estradosso del solaio senza una soletta in c.a. resistente non è più normato dal 1972

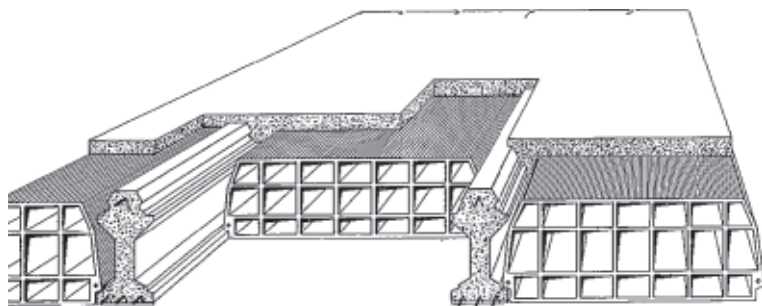


Figura 2.11a. Solaio con travi prefabbricate (travi "Varese") e blocchi in laterizio. Le travi "Varese" hanno trovato largo impiego per la costruzione di coperture a falde piane e inclinate con tavellone inferiore e superiore atti a formare una camera d'aria adatta a fornire un certo grado, in rapporto all'epoca, di isolamento termico

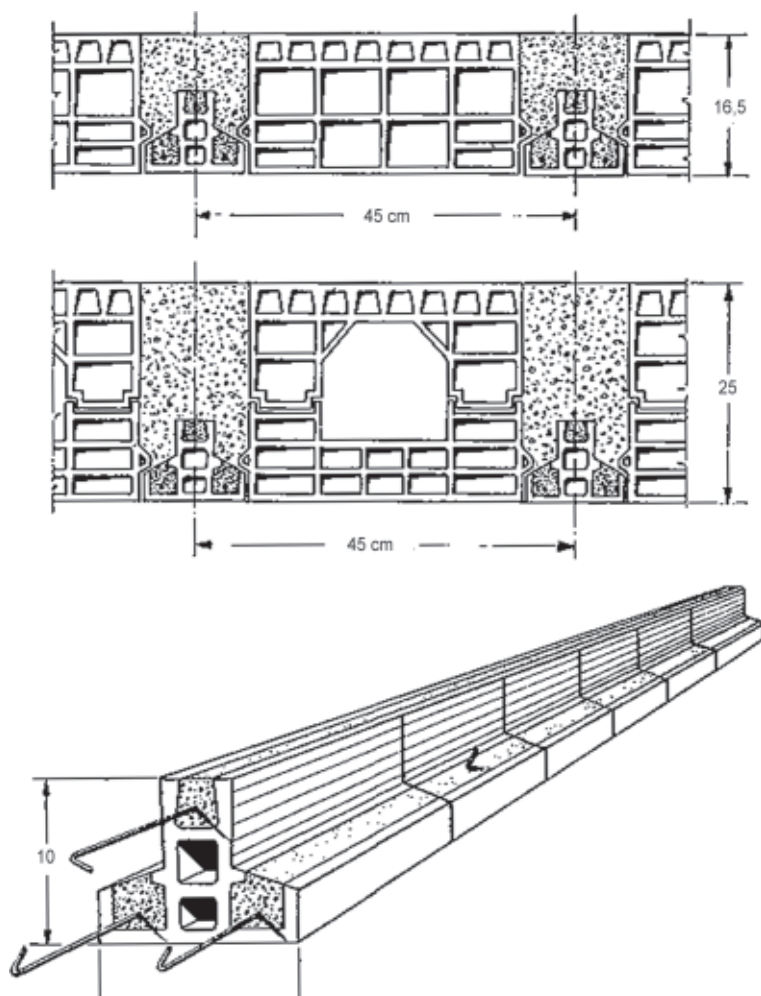


Figura 2.11b. Solaio con travetti prefabbricati in c.a. e laterizio. Il vantaggio di questo solaio è quello di ottenere un intradosso piano in laterizio atto a ridurre i fenomeni di elettroforesi. Come già scritto per il solaio senza soletta il cls non è stato più ammesso dalle norme a partire dal 1972

formazione termica libera. Il sistema di deformazioni è accompagnato dunque da un sistema di tensioni autoequilibrate chiamate *tensioni termiche*.

Un sistema di tensioni termiche può prodursi in una struttura composta di materiali aventi *differenti caratteristiche* anche quando la variazione di temperatura è uniforme su tutta la struttura.

Anche nel caso di variazione di temperatura uniforme in un corpo omogeneo e isotropo, se esistono dei vincoli esterni alla libera deformazione del corpo, nasce uno stato di sollecitazione detto di tensioni termiche.

Si abbia, ad esempio, un sistema costituito da due barre parallele di materiali diversi (figura 5.10) e di lunghezza diversa vincolate ad un estremo in modo perfettamente rigido e all'altro ancora vincolate rigidamente a muoversi insieme in direzione parallela agli assi delle barre premendo su una molla di costante k .

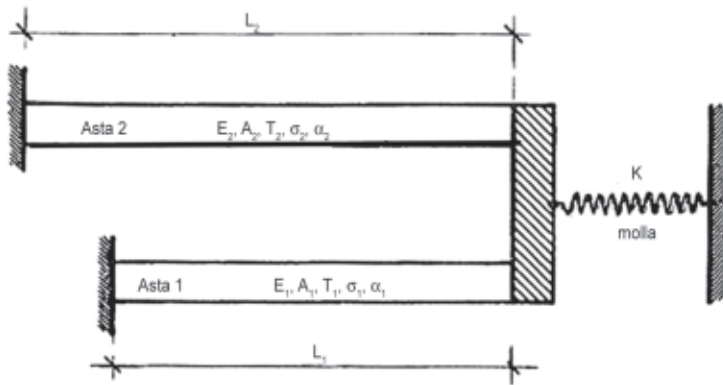


Figura 5.10. Schema di calcolo della dilatazione di un sistema composto da due materiali diversi collaboranti tra loro

T_1 e T_2 indicano la variazione di temperatura nelle due aste. Per l'equilibrio è:

$$\sigma_1 A_1 + \sigma_2 A_2 = P$$

dove

$$P = kS$$

è la forza che determina lo spostamento S nella molla di costante k . Per la congruenza agli spostamenti è:

$$\sigma_1 T_1 L_1 + (\sigma_1 L_1)/E_1 = \alpha_2 T_2 L_2 + (\sigma_2 L_2)/E_2 = -S$$

risolvendo il semplice sistema si ricava:

$$\sigma_1 = - (E_1 L_1 (\alpha_1 T_1 L_1 - \alpha_2 T_2 L_2) - k \alpha_1 T_1 (E_1 L_2 / E_2 A_2)) / (1 + (k L_2 / A_2 E_2) + (A_1 E_1 L_2 / A_2 E_2 L_1))$$

Se la molla è infinitamente flessibile ($k = 0$) si ha:

$$\sigma_I = - (E_1/L_1 (\alpha_1 T_1 L_1 - \alpha_2 T_2 L_2)) / (1 + (A_1 E_1 L_2 / A_2 E_2 L_1)) \text{ ecc.}$$

Se lo spostamento laterale è impedito ($k = \infty$ e $S = 0$) risulta:

$$\alpha_1 = -E_1 \alpha_1 T_1$$

$$\alpha_2 = -E_2 \alpha_2 T_2$$

Risulta evidente come nel caso di una struttura composita costituita da materiali dissimili e soggetta a variazioni di temperatura disuniformi il sistema di tensioni termiche autoequilibrate non dipende più soltanto dal salto di temperatura ma anche dalle caratteristiche fisiche e dalla geometria dei vari elementi. Nel caso di un materiale la cui dilatazione è impedita nelle tre direzioni allora la tensione termica vale:

$$\sigma = - (E \alpha_1 T) / (1 - 2r)$$

Ad esempio:

$r = 0$	$1 - 2r = 1$	$1/1 - 2r = 1$
$r = 0,1$	$1 - 2r = 0,8$	$1/1 - 2r = 1,25$
$r = 0,2$	$1 - 2r = 0,6$	$1/1 - 2r = 1,67$
$r = 0,3$	$1 - 2r = 0,4$	$1/1 - 2r = 2,5$

Tutto questo nell'ipotesi che la temperatura vari lentamente nel tempo senza produrre sollecitazioni di tipo dinamico. Se la temperatura varia bruscamente il valore della σ può crescere ed essa è influenzata anche dalla presenza di fori, cavità o noduli. Il prodotto $E\alpha$ va sotto il nome di *modulo termico* del materiale.

Tabella 5.1. Valori del modulo termico per alcuni materiali

Materiale	E (daN/cm ²)	$\alpha \cdot 10^{-5}$	$E \cdot \alpha$
Per l'acciaio	2.100.000	1	21
Per il calcestruzzo	200.000 350.000	1,16÷1,34 1,16÷1,34	2,32÷4,69
Per il laterizio	220.000	0,36÷0,58	0,79÷1,28
Per le malte di cemento (discrete)	150.000	0,80÷0,90	1,2÷1,35
Per le malte di cemento ad alta resistenza	250.000	1÷1,1	2,5÷2,75

Naturalmente quanto detto in precedenza, vale in campo elastico e per intervalli limitati di temperatura. Infatti, al crescere di questa, cambia il comportamento del materiale.

Indipendentemente da ciò, se il materiale è duttile, al crescere della tensione termica può raggiungere il campo delle deformazioni plastiche. Un ulteriore fatto da non trascurare è che le variazioni termiche non avvengono così semplicemente come si è supposto, ma bisogna considerare il regime termodinamico del corpo e le sue interazioni con l'ambiente.

Le variazioni termiche sono, infatti, sempre accompagnate almeno da variazioni di umidità relativa, cosa che ha un'ovvia influenza su tutti i materiali porosi (e, per valori più elevati, anche da cambiamenti nella natura cristallografica dei materiali). Il calcolo delle deformazioni termiche e delle azioni dovute a deformazioni termiche impedita si estende anche al caso di distribuzione non uniforme della temperatura nello spessore.

In generale, dato uno stato t_0 di temperatura iniziale e uno stato finale di temperature t_s (al bordo superiore) e t_i (al bordo inferiore) si può, in regime di sovrapposizione degli effetti, scindere il fenomeno in due. Si ha quindi la somma tra una variazione uniforme nello spessore che si sovrappone ad una variazione a farfalla (figura 5.11):

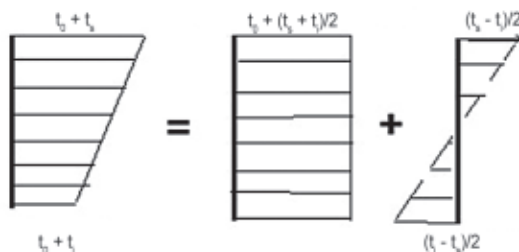


Figura 5.11. Scomposizione del diagramma delle variazioni termiche

Per quanto riguarda le deformazioni impedita, causate da effetti di ritiro dei componenti cementizi del sistema, a breve per asciugamento (30-60-90 gg.) e a lungo per carbonatazione (1-2-10 anni), e per gli effetti delle variazioni dimensionali dovute a variazioni di umidità relativa (si ricordi al riguardo che il segno delle variazioni di dimensione del laterizio è, alle umidità relative reali del 50-60%, opposto a quello dei componenti cementizi dei sistemi). Si rimanda ai paragrafi precedenti ricordando che in molti casi le procedure di calcolo sono analoghe a quelle sopra esposte.

5.1.3. Problemi di calcolo (esempio di analisi)

Volendo riportare il discorso dal generale al particolare si prenda in esame un caso concreto di costruzione illustrato nelle figure 5.12, 5.13 e 5.14 (un edificio medio di circa 6400 m³).

La disposizione in pianta è stata scelta in modo da presentare alcuni casi semplici ma frequenti.

7.2. Proposta di scheda di rilevamento

SCHEDA DI RILEVAMENTO CADUTA FONDELLI

Ubicazione dell'immobile

Località (indirizzo completo):

.....

Destinazione dei locali interessati dai fenomeni di sfondellamento:

.....

Destinazione ed uso effettivo della costruzione:

.....

Estremi della proprietà:

.....

Estremi dell'utilizzatore di locali:

.....

Condizioni di utilizzo dei solai e delle strutture:

.....

Acquisizione della documentazione tecnica di progetto e del costruito:

.....

Verifica di rispondenza della documentazione all'esistente

Accertare in particolare l'esistenza di un collaudo delle strutture e l'avvenuta esecuzione di prove sui materiali e di prove di carico sui solai:

.....

.....

Ricostruzione della storia dell'edificio:

.....

.....

Accertamento di eventuali avvenimenti precedenti che possono avere influenzato il comportamento attuale dei solai:

.....

.....

Tecnici e persone presenti al sopralluogo:

.....

.....

Annotazione di eventuali dichiarazioni spontanee

Acquisizione di eventuale documentazione fotografica con indicazione dei nominativi di chi la fornisce:

.....

.....

Sfondellamento dei solai in latero-cemento

Nome cognome e qualifica ed indirizzo dei tecnici che eseguono il sopralluogo e degli altri intervenuti aventi causa:

.....

Data del rilevamento:

.....

Data e presumibile ora in cui è avvenuto il fenomeno:

.....

Temperature ed umidità esterna quando è avvenuto il distacco:

.....

Temperature e umidità interna quando è avvenuto il distacco:

.....

Tipo di costruzione (in opera, prefabbricata, in muratura, ad ossatura portante, mista):

.....

Anno di fornitura dei blocchi e epoca di costruzione del solaio:

.....

Ubicazione del solaio (copertura, intermedio, tipi di locali su cui insiste il solaio all'intradosso e, se intermedio, all'estradosso):

.....

Tipo di finitura all'intradosso (intonacato a cemento, a calce, verniciato, nudo, controsoffittato ecc.):

.....

Tipo di finitura all'estradosso (barriera vapore, isolamento, impermeabilizzazione, terrazzo, sottotetto, tegole, pavimento ecc.):

.....

Situazioni particolari degli impianti (tipo di impianto di riscaldamento o climatizzazione, ubicazione termosifoni, termoconvettori, bocchette di immissione, di estrazione ecc., temperature di funzionamento):

.....

Momento in cui è stato acceso o meno il riscaldamento o il raffrescamento e dati di funzionamento:

.....

Descrizione di dettaglio del solaio, allegando se possibile una piantina e uno schema delle armature in acciaio:

.....

Solaio a semplice campata, luce del solaio, solaio continuo, luce del solaio e di quelli adiacenti:

.....

Posizione particolare dei muri:

.....

Forma in pianta del solaio:

.....

Solaio con o senza rompitratte:

.....

Rilevamento dei sistemi reali in rapporto ai fenomeni di sfondellamento ■ cap 7

Presenza o meno delle zone piene in corrispondenza degli appoggi o di muri in calcestruzzo:

.....

Altezza totale:

Spessore soletta:

Spessore nervature (escluso laterizio):

Interasse nervature:

Tipo di blocco di laterizio e sue dimensioni:

.....

Indicazione del tipo di acciaio d'armatura cioè se tondo, liscio o nervato, e stima diametri:

.....

Possibile documentazione fotografica (usare fotocamera digitale da almeno 12000 pixel, per poter avere una buona risoluzione dei particolari):

.....

Altre osservazioni sull'aspetto generale del lavoro, sulle modalità e qualità dell'esecuzione:

.....

Commenti ed impressioni o dati riferiti da terzi:

.....

Misurazioni effettuate:

.....

.....

.....

.....

Strumentazione impiegata, numero di matricola, dati di taratura, riferimenti normativi eventuali riguardanti gli strumenti e le modalità di misura (per esempio: termocamera, video ispezione, microfono con registratore delle risposte sonore alla battitura, umidometro, psicometro, termometro digitale, nonio, martello in gomma, asta di battitura, ecc.):

.....

.....

.....

Data del rapporto

.....

Firma e timbro dell'estensore del rapporto

Elenco degli allegati

7. Prove su terreni

7.1. Prova a flessione del blocco inserito in un getto di calcestruzzo

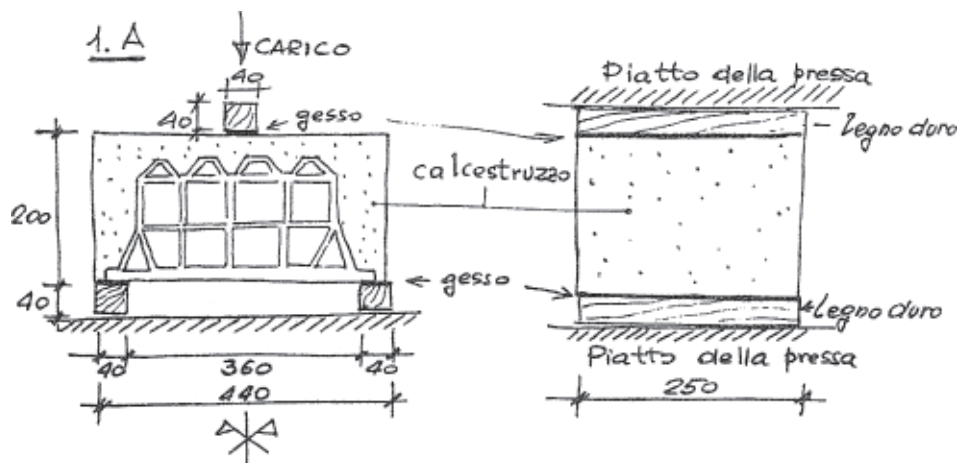


Fig. 24. Schema di prova.

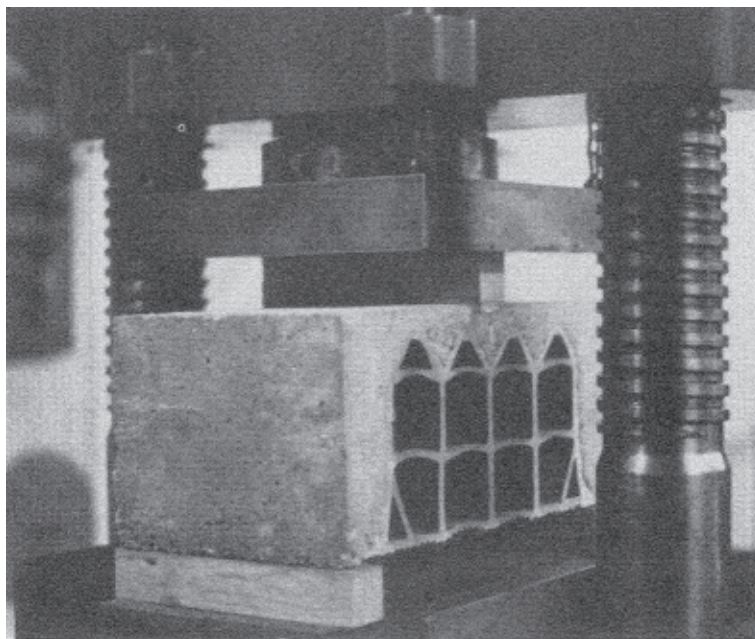


Fig. 25. Prova 1.

Prova n.	1	2 (*)
Carico al quale si avvertono i primi scricchiolii	160 kg (1570 N)	100 kg
Carico di rottura	580 kg (5670 N)	440 kg

(*) Non eseguito strato di gesso sotto lo stocco di legno superiore.

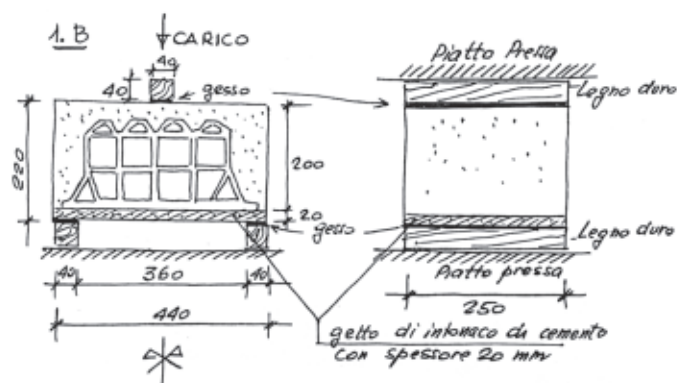


Fig. 26. Schema di prova

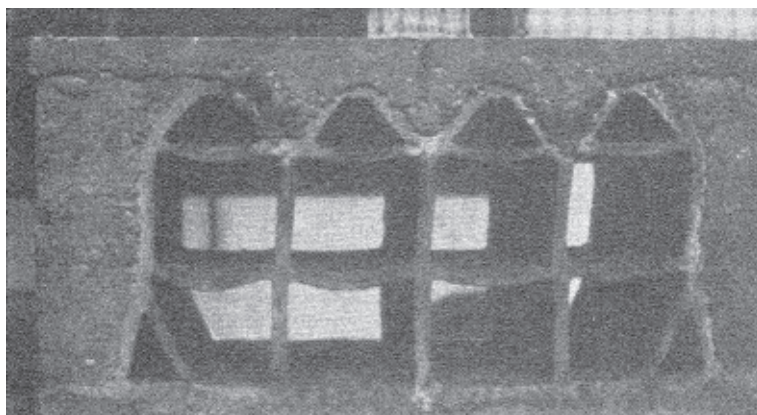


Fig. 27

2.1.2. Imbibizione ed essiccamento

2.1.2.1. Assorbimento in peso

Dopo essiccazione in stufa, riposo per 24 ore in ambiente condizionato (20 °C e 50% U.R.) e pesatura, blocchi sono stati immersi per 1', 5' e 60' in H₂O assorbito. La pesatura è stata effettuata dopo 5' di sgocciolamento per eliminare l'H₂O superficiale. I blocchi sono stati lasciati in aria in ambiente condizionato a 20 °C e 50% U.R. e pesati.

I risultati sono riportati nelle tabelle 2 e 3.

2.1.2.2. Allungamento

Per misurare l'allungamento durante la prima imbibizione (la prova del 2.1.1. determina l'allungamento in tempi lunghi) è stata usata l'apparecchiatura Telemac a corde vibranti (fig. 2).

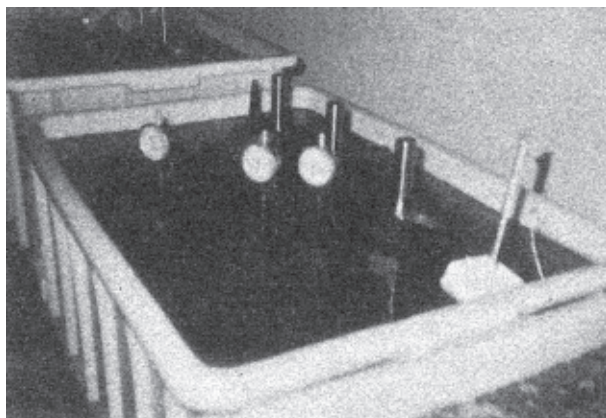


Fig. 2

I risultati sono riportati nella tabella 4 per il tipo **B**. La modalità di prova è simile a quella indicata in 2.1.2.1.

È stato poi misurato l'allungamento igrometrico da 20 °C e 50% U.R. a 20 °C e 70% U.R. Per i risultati si veda la tabella 5. Si osservi che il blocco essiccato in stufa e portato a 20 °C e 50% U.R. è praticamente privo di acqua (tabella 3).

Allo stesso risultato si arriva anche partendo da blocco imbibito dopo 15 gg. di permanenza a 20 °C e 50% U.R.

Tabella 2. Prova assorbimento H_2O ed essiccazione laterizi.

Ditte	Peso iniziale	Immersione H_2O			Tempo d'essiccazione 20 °C 50% U.R.						
		1'	5'	60'	60'	24 h	48 h	72 h	96 h	7 gg.	14 gg.
A	7517	8114	8474	8486	8464	8025	7747	7587	7541	7534	7533
A	7590	8204	8559	8576	8554	8468	7887	7687	7626	7609	7609
A	7529	8177	8509	8517	8500	8072	7767	7605	7553	7547	7545
B	7264	8341	8366	8405	8377	7931	7515	7294	7266	7265	7265
B	7322	8388	8425	8476	8451	8044	7649	7384	7325	7323	7324
B	7251	8314	8344	8385	8358	7923	7514	7288	7251	7251	7250
C	8052	9262	9397	9411	9391	8953	8512	8162	8062	8056	8055
C	7878	9025	9108	9121	9107	8735	8353	8050	7919	7879	7881
C	7738	8926	8997	9113	9097	8588	8165	7843	7743	7741	7740

N.B. I pesi sono rilevati dopo 5' di sgocciolatura.

Tabella 4.

Tipo B	Tempo	μ/m
In acqua	5'	21,9
	30'	26,5
	1 h	32,5
	3 h	34,7
	1 gg.	51,15
	2 gg.	65,6
	3 gg.	75,9
	5 gg.	97,7
	7 gg.	102,9
In aria	8 gg.	88,9
	9 gg.	98,8
	10 gg.	102,9
	11 gg.	101,3
	12 gg.	101,9
	15 gg.	100,3
	28 gg.	102,4

Tabella 5.

Giorni	Tipo B non intonacate (allungamenti in μ/m)		
	Comparatore n. 1	Comparatore n. 2	Somma
1	2,5	2,5	5
2			
3	5	7,5	12,5
7	5	10	15
14	10	17,5	27,5
21	15	20	32,5
28	12,5	20	32,5
35	15	25	40

2.2. Prova sulle malte

2.2.1. Ritiro

È stato studiato il ritiro di diversi tipi di malte da intonaci in piccolo spessore (1 cm) per verificare se tale fenomeno è influenzato dallo spessore. Infatti i risultati noti agli autori si riferiscono sempre a provini con rapporto larghezza/spessore costante ed uguale a 1 e non con larghezza/spessore uguale a 25 come nel nostro caso (figg. 3 e 4).

La composizione delle malte era:

- sabbia 0-7 (vaghiata normale) 1300 kg
- cemento (dei vari tipi) 400 kg
- acqua 330 kg

Le condizioni di maturazione in camera climatizzata erano: 20 °C e 70% U.R.
Per i risultati si veda la tabella 6; per i ritiri e per le caratteristiche meccaniche delle malte e dei cementi usati le tabelle 7 ed 8. I risultati delle prove delle tabelle 7 ed 8 sono stati ottenuti secondo le norme di prova dei cementi.

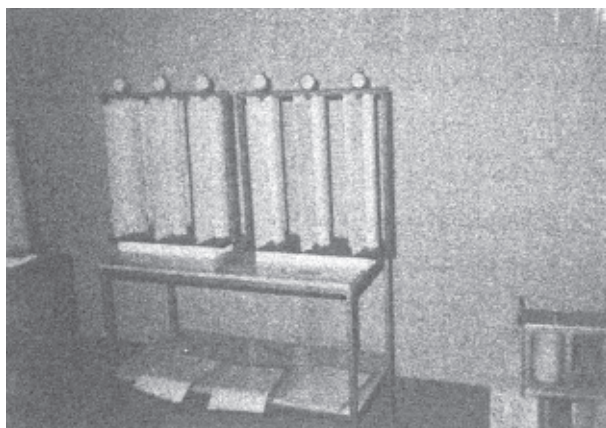


Fig. 3

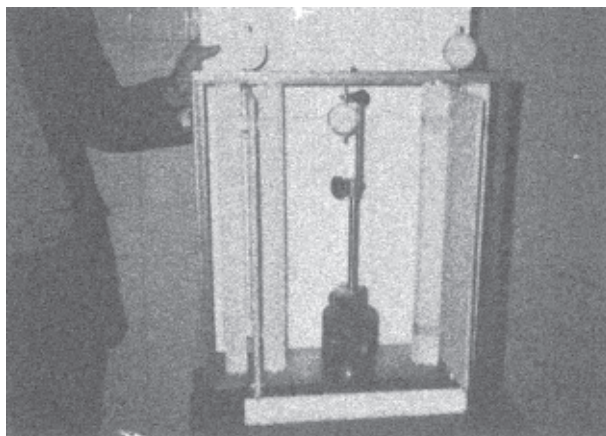


Fig. 4

Tabella 6.

Gettate su vetro			Ritiro in μ/m									
gg.	525PTL n. 1	n. 2	medie	425PTL n. 1	n. 2	medie	325PTL n. 1	n. 2	medie	325PZ n. 1	n. 2	medie
1	112	132	122	108	108	108	66	56	61	66	82	69
2	390	406	398	438	438	438	362	332	347	448	460	454
3	530	540	535	560	568	564	480	460	470	668	670	669
7	696	694	695	698	692	695	616	586	601	780	786	783
14	822	816	819	784	774	779	728	688	708	868	868	868
21	920	908	914	830	820	825	762	723	747	888	890	889
28	988	984	986	860	844	852	776	750	763	906	906	906
45	1078	1078	1078	898	872	885	792	764	778	924	922	923
60	1142	1144	1143	914	884	899	802	774	788	940	936	938
90	1198	1200	1199	950	912	931	810	782	796	954	950	952
120	1230	1234	1232	966	926	946	816	788	802	968	964	966
150	1238	1242	1240	972	934	953	820	792	806	972	968	970

Nel diagramma delle escursioni sono riportati i valori W_i delle differenze tra il più alto ed il più basso dei valori riscontrati nell'esame di ciascun campione.

Le carte di controllo del tipo $\bar{x}$, W , relative alle prove di correlazione, si ottengono nel modo seguente: ogni giorno viene prelevato in stabilimento all'uscita del forno un campione rappresentativo, e cioè in punti caratteristici e prefissati della sezione del forno, di n elementi e su di esso si esegue la prova. I valori ottenuti ($\bar{x}$ e W) verranno riportati nella relativa carta di controllo i cui limiti sono così definiti:

- per $n = 2$ (prova di correlazione con la resistenza a compressione – elementi collaboranti):

diagramma delle medie

LC = $\bar{x}$ (prescrizione assegnata: valore definito in occasione delle prove di qualificazione insieme allo scarto quadratico medio s);

LSC = $\bar{x} + 2,121 s$

LIC = $\bar{x} - 2,121 s$

diagrammi delle escursioni

LC = 1,128 s

LSC = 3,686 s

LIC = 0

- per $n = 10$ (prova di correlazione con la resistenza a compressione – elementi non collaboranti):

diagramma delle medie

LC = $\bar{x}$ (prescrizione assegnata: valore definito in occasione delle prove di qualificazione insieme allo

scarto quadratico medio s)

LSC = $\bar{x} + 0,949 s$

LIC = $\bar{x} - 0,949 ns$

diagramma delle escursioni

LC = 3,078 s

LSC = 5,469 s

LIC = 0,687 s

La carta di controllo per attributi, detta carta P , è costituita da un solo diagramma, nel quale vengono riportate le percentuali degli elementi non conformi riscontrate

nel campione. Nel caso che interessa (difetti superficiali odi aspetto), per $n = 125$, i valori che delimitano la fascia di controllo sono:

per $LQA = 6,5\%$

$LC = 5\%$

$LSC = 10,8\%$

$LIC = 0$

(Per chiarimenti su carte di controllo vedi tabelle UNI 4727-66 e 4728-66).

Nota finale dell'autore

Ogni momento della nostra giornata è un atto di fiducia: sia quando compriamo un alimento, certi che non sia avvelenato; sia quando saliamo su un mezzo pubblico o sull'auto di un amico, sicuri che il guidatore sia sobrio, nel pieno possesso delle sue facoltà mentali e fisiche e sia capace di guidare; ma anche quando crediamo a quello che ci viene raccontato da una persona che gode della nostra stima o con cui esiste un rapporto di amicizia.

Senza la fiducia noi vivremmo perennemente nella paura o non vivremmo affatto. La fiducia ci dà sicurezza. La sicurezza è un bisogno insopprimibile di ogni individuo (maschio e femmina). Desideriamo tutti, oggi più che mai, avere delle certezze. Fin da bambini sperimentando l'affetto dei genitori ci affidiamo a loro e ricorriamo a loro per ogni nostra necessità.

Nel campo della tecnica il bisogno di sicurezza porta noi tecnici a cercare di conoscere sempre meglio le situazioni di pericolo e a studiare e realizzare i mezzi più idonei per evitarle.

A qualsiasi livello dell'istruzione tecnica ci troviamo di fronte alla determinazione del *coefficiente di sicurezza*, fino a diventare in noi un condizionamento di vita. Non solo, siamo anche chiamati ad operare affinché l'oggetto del nostro lavoro risulti durevole. Se guardiamo alla nostra vita personale, ognuno di noi, negli affetti, si adopera per costruire una relazione forte e durevole nel tempo. La consapevolezza di una relazione di questo tipo ci dà sicurezza per il futuro.

In tutti i campi della nostra vita noi cerchiamo sicurezza, prima di tutto nelle relazioni interpersonali, poi nella salute, nel lavoro, nella casa, ecc.

Guardiamo al futuro desiderando serenità, stabilità, temendo la sofferenza.

Allo stesso modo, quando dobbiamo decidere un acquisto cerchiamo, prima di decidere, sicurezza nell'esperienza nostra, degli altri e nel rispetto delle norme. Così l'uomo, che alle origini non aveva, come noi, ricevuto in eredità una conoscenza acquisita dai suoi progenitori, oggi ha trasferito la sua conoscenza in migliaia di volumi e di norme.

Questo patrimonio di conoscenza e di regole ci dovrebbe dare maggiori certezze. Ed invece più l'uomo conosce e più si rende conto di quello che non sa, più nor-

me ha e più queste norme sono fonte di dubbi e di ansie. Viviamo, invece che nella sicurezza, in uno stato di maggiore paura.

La mia personale esperienza mi dice che in realtà è venuta meno la fiducia nell'operato degli altri. Vi è la tendenza a vivere guardando al negativo delle persone, non si ha più la fiducia che ognuno, nell'agire, si comporti *con la cura del buon padre di famiglia*. È un concetto che per un falso principio di giustizia (egualianza di diritti e doveri tra il padre e la madre), qualcuno vorrebbe cancellare dall'ordinamento giuridico per non dover modificare l'espressione *con la cura del buon padre e della buona madre di famiglia* che potrebbe offendere altre figure di genitori.

Chiediamoci cosa possiamo fare noi, come tecnici, per dare e ricevere fiducia dal nostro prossimo. Personalmente, oggi, quando una persona si rivolge a me, cerco di comprendere che cosa veramente si aspetta.

Se mi chiede di progettare qualcosa, non cerco di usare i soldi del mio cliente per "passare alla storia" o per affermare la mia bravura di fronte agli altri.

Certo, lavorare bene mi gratifica, ma mi gratifica di più constatare che il cliente alla fine resta contento. Cerco di capire, tra quello che mi espone e mi chiede, che cosa veramente desidera e quali sono le sue aspettative.

M'impegno cioè a rispondere alla domanda che c'è in lui. Poi nello svolgimento del mio lavoro mi sforzo di dare il massimo, indipendentemente dall'importanza dell'opera e dal guadagno che potrò ricavarne. Questo mio comportamento crea fiducia e dà sicurezza al cliente, mi gratifica ed accresce la mia autostima. Cresce in me la fiducia nelle mie capacità.

Ho fatto un esempio per affermare che senza fiducia non vi è sicurezza.

Le norme da sole non bastano a dare sicurezza. Se non vi è la fiducia, il cliente e l'utente, che non sono competenti, si chiederanno: "Ma avrà progettato, costruito, collaudato, controllato bene? Avrà rispettato le norme di legge e di buona tecnica?" Succede talvolta che, nonostante le nostre conoscenze e il nostro impegno, si manifestino delle situazioni impreviste e, forse, imprevedibili.

Sono spesso conseguenza dei limiti della nostra conoscenza ed esperienza.

Questo è successo quando nel XIX secolo crollarono le prime costruzioni metalliche e allora si riscoprì l'importanza degli studi di Eulero. Lo stesso, ancora, è accaduto con il ponte sospeso sul Takoma e si capì che era importante verificare le vibrazioni torsionali e l'aerodinamica. La nostra storia di conoscenza è piena di episodi di questo tipo.

Così oggi, nella ricerca di soluzioni più ardite e meno costose, ci troviamo di fronte a situazioni che ci chiedono un momento di riflessione e di approfondimento della conoscenza.

È questo fermarsi a riflettere, e la consapevolezza della conoscenza, che ci permette di approfondire, capire, cercare e trovare nuove soluzioni.

Personalmente di fronte a situazioni del genere oggi, che viaggio gioiosamente verso il fine ultimo della mia storia, io chiedo, nella preghiera, l'aiuto di Dio, che illumini la mia mente, mi dia capacità di discernimento, capacità di collaborazione e spirito di umiltà.

Dopo avere pregato così allora con fiducia consapevole, mi metto al lavoro, convinto che avrò il modo di trovare la soluzione sperata per dare maggiore sicurezza al mio prossimo.