

# Considerazioni sul fenomeno di distacco di parti laterizie in solai misti. Prime risultanze sulla base di indagini e sperimentazioni

Ing. CRESCENTINO BOSCO  
Istituto di Scienza delle Costruzioni  
del Politecnico di Torino

*Ad integrazione della relazione del Prof. Levi, vengono esposti in dettaglio gli studi, ancora in corso, aventi lo scopo di approfondire le cause che talvolta provocano il distacco di parti laterizie dai blocchi in opera. Il problema si è rivelato di grande complessità, essendo molto numerosi i fattori che possono influire sul fenomeno, considerata soprattutto la circostanza che essi possono combinarsi tra loro nel modo più vario. Appare comunque già possibile proporre suggerimenti di carattere tecnico ed esecutivo atti a limitare drasticamente il fenomeno.*

1. Nella normativa riguardante le opere in conglomerato cementizio armato, oltre alle indicazioni riguardanti le sollecitazioni ammissibili a cui può essere sottoposto il blocco laterizio, gli estensori hanno inteso richiamare l'attenzione (definendola particolare) sulla «sicurezza al distacco di parti laterizie, specialmente in dipendenza di sforzi trasversali anche di carattere secondario». È evidente l'intenzione di rendere ben presente il fatto che l'impiego di un elemento costruttivo con prevalenti funzioni di alleggerimento deve essere verificato come possibile quando debba assorbire sforzi elevati, particolarmente in direzione trasversale a quella di trafilatura.

È d'altra parte noto come in taluni casi, generalmente con un ritardo sul termine dei lavori variabile tra i 3 ed i 7 anni, alcune parti di solaio manifestano il distacco delle parti inferiori dei blocchi, con evidenti danni di natura economica.

Un attento studio dei fenomeni verificatisi, delle

possibili cause e dei loro effetti singoli sul blocco ha evidenziato una complessità notevole di interpretazione, tale da rendere estremamente difficoltosa l'individuazione di una o di alcune cause principali, e quindi una schematizzazione di calcolo e di verifica accessibile.

La bibliografia esistente ed i periodici dibattiti dimostrano infatti da un lato la pratica impossibilità ad enucleare con chiarezza di dimostrazione l'interrelazione causa-effetto e dall'altra che è facile assumere posizioni preconcepite nei riguardi delle componenti interessate nel processo costruttivo.

È vero che i produttori, i progettisti, i costruttori, ecc. possono essere coinvolti in errori di valutazione, in considerazioni incomplete, ma siamo convinti che l'assunzione di giudizi non comprovati è un modo poco produttivo di affrontare, volendolo risolvere, il problema.

Le esperienze condotte negli ultimi mesi hanno tuttavia dimostrato che, seppure ancora in man-

canza di valutazioni definitive, è già possibile intervenire in varie direzioni (progettazione, produzione, esecuzione) ad un livello più approfondito e, sulla base di ulteriori sperimentazioni già avviate, ridurre al minimo la probabilità di inconvenienti.

2. È interessante ricordare quella che è stata l'informazione da noi ottenuta nel corso di due visite effettuate al CTTB (Centre Technique des Tuiles et Briques) di Parigi nel corso del 1979, dove erano in corso da alcuni anni sperimentazioni sul fenomeno citato, che erano state di base in Francia per la compilazione di prescrizioni tecniche riguardanti l'impiego di blocchi da solaio soggetti a sforzi secondari:

— i procedimenti costruttivi francesi privilegiano l'impiego di blocchi interposti e, di conseguenza, tutte le indagini e sperimentazioni eseguite riguardano quel tipo di blocco;

— le indagini e gli studi hanno avuto come riferimento particolare gli edifici per abitazione e scolastici a muri perimetrali portanti, o a muri intermedi portanti gettati in opera (banché);

— la composizione delle terre impiegate per la produzione di blocchi in Francia è tale da determinare nel prodotto finito una dilatazione all'umidità sensibile, e quindi importanti pericoli di rotture del blocco per deformazione impedita.

Su queste ipotesi gli studi compiuti hanno considerato il comportamento dell'insieme «muri-solai» a fronte di alcune cause ritenute prevalenti, ovvero ritiro del calcestruzzo, variazioni termiche differenziali e dilatazione del laterizio. Si nota che l'effetto delle variazioni termiche è inglobato nell'imposizione di un valore forfettario di ritiro del calcestruzzo pari a 0,4 mm/m.

Le variabili, nel citato schema di funzionamento, restavano unicamente le caratteristiche geometriche e meccaniche del blocco. Resta inteso naturalmente che il problema era limitato alla eventuale caduta per sforzi secondari, e che quindi tutte le verifiche imposte dai regolamenti in sede di progetto ed esecuzione di solai misti con impiego di blocchi laterizi erano da considerarsi a parte.

Senza entrare eccessivamente nei dettagli si dirà quindi che le proposte di norma francesi prevedono:

a) *edifici scolastici o d'abitazione a muri intermedi portanti di spessore massimo 15 cm*

$$\psi = \frac{N_c + \beta \varepsilon_c}{1 - \alpha} \leq r_c = \rho \varepsilon_f$$

dove:

$\psi$  = indice di stabilità;

$\rho$  è un numero puro (accorciamento caratteristico ridotto) definito come rapporto  $r_c/\varepsilon_f$  tra l'accorciamento

caratteristico dedotto dalla prova siamese e la dilatazione a rottura per flessione su un provino estratto dal blocco;

$N_c$  è la dilatazione all'umidità caratteristica ottenuta aumentando di 0,5 mm/m la metà della dilatazione convenzionale all'umidità in autoclave;

$\beta$  è un coefficiente che dipende dai moduli elastici normali e dalle aree delle parti strutturali in gioco (laterizio, calcestruzzo ed eventuali armature metalliche);

$\varepsilon_f$  è il ritiro del calcestruzzo che, comprensivo dell'effetto termico differenziale, è posto = 0,4 mm/m;

$\alpha$  è un termine dipendente dalla presenza o meno di soletta in calcestruzzo solidale con le nervature, dal modulo  $E$  del calcestruzzo e dal numero di setti orizzontali intermedi del blocco in compressione.

La verifica va fatta con riferimento ad una sezione longitudinale del solaio ed alle parti di muro solidali con esso che vanno dalla metà dell'altezza di piano inferiore a quella superiore rispetto al solaio stesso.

b) *edifici di abitazione a muri perimetrali portanti* - In tali casi è sufficiente che l'accorciamento caratteristico del laterizio (prova siamese) sia superiore a 0,75 mm/m. Queste verifiche sono tuttora in corso di perfezionamento, stante la necessità di semplificare le procedure di determinazione dell'accorciamento caratteristico ridotto. Appare infatti possibile un raggruppamento dei diversi tipi di blocco in classi aventi disegno simile (dimensioni complessive, spessore delle pareti, dimensioni dei fori diverse da blocco a blocco, ma dove le forme siano simili) per ciascuna delle quali è sufficiente la prova siamese su un solo blocco e dalla quale si ottiene il  $\rho$  per l'intera classe.

Per il tipo di blocco indicato in figura 1 la semplificazione appare certa; per altri disegni sono in corso indagini di approfondimento. Nel complesso, a seguito degli studi ed esperimenti colà svolti, appare prevedibile un notevole miglioramento della situazione vista sotto l'aspetto della limitazione degli inconvenienti, mentre più complessa risulta

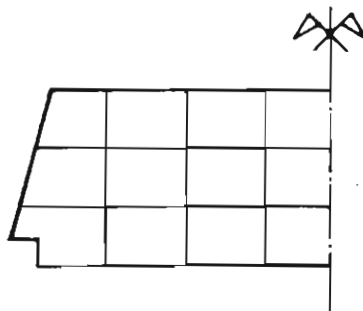


Fig. 1 - Tipo di blocco rappresentativo di una classe.

quella dell'impiego di blocchi laterizi in generale; più in dettaglio quindi:

— riguardo all'impiego di blocchi laterizi, se ne nota il progressivo abbandono nel Nord della Francia sia per le ragioni esposte (inconvenienti) che hanno determinato l'impiego di blocchi in calcestruzzo leggero o in polistirolo, sia per la diffusione dei procedimenti costruttivi a coffrage-tunnel, o comunque impiego di lastre in calcestruzzo; nella parte Sud la situazione appare migliore e l'utilizzazione del laterizio per solai risulta stazionaria. Vale comunque una nota di colore, e cioè la segnalazione di fenomeni impensati e per certi versi opposti a quello della caduta delle cartelle di laterizio, consistenti nel taglio dei travetti in calcestruzzo in corrispondenza del piano di appoggio dei blocchi, determinato dalla notevole rigidità trasversale degli elementi in calcestruzzo interposti; in sostanza il fenomeno delle sollecitazioni trasversali esiste, appare di difficile eliminazione in sé, e non sempre con provvedimenti semplicistici si ottengono i migliori risultati;

— la situazione della normativa risulta buona e in via di miglioramento; è ritenuta interessante la schematizzazione realizzata per la simulazione degli effetti trasversali anche se sono tenute particolarmente in conto alcune cause là prevalenti. Ne è testimonianza l'obbligo di riportare negli Avis Techniques comportanti l'impiego di blocchi laterizi il valore dell'accorciamento caratteristico  $r_c$  e quello della dilatazione all'umidità.

3. Dalle informazioni avute in Francia, dalle contemporanee indagini su documentazioni oltre ai primi risultati sperimentali ottenuti, non è apparso possibile trasferire il modello francese da noi, stante le diversità oggettive di tecniche e procedimenti costruttivi e la complessità nell'uso delle relazioni matematiche che ne risulterebbero con l'introduzione di altre variabili che, nella nostra realtà, non sono trascurabili in confronto a quelle che in Francia sono ritenute determinanti.

Tale affermazione deriva, più ancora che dall'effettiva estrema varietà di tipologie strutturali presenti in Italia (la scelta del CTTB di studiare certi tipi strutturali era contingente al manifestarsi dei fenomeni), dalla presenza in Italia di dissesti che non trovano una giustificazione con l'adozione di un modello analogo a quello francese. Si ricorda che le verifiche suggerite al CTTB ammettono probabilisticamente un rischio del 2,5% (edifici scolastici) ovvero del 5% (abitazioni) nel superamento dei limiti imposti alla dilatazione caratteristica, ammettendo che i fenomeni considerati si siano praticamente esauriti nel periodo di 10 anni dopo la costruzione.

Risultano infatti in Italia alcuni esempi significativi di scostamento dal modello citato che mettono

in evidenza l'intervento di numerose altre cause e che risultano dalle seguenti considerazioni:

a) manifestazione di distacchi di alcune parti di intonaco e cartelle laterizie in pannelli prefabbricati e preintonacati, sia a terra nel cantiere di prefabbricazione, sia in opera, con una particolarità per i pannelli con pignatte di altezza 16 e 18 cm (la luce dei pannelli variava tra 4 e 5,8 m e la loro larghezza era di 2 m).

La particolarità consiste nella manifestazione dell'inconveniente a brevissimo lasso di tempo dalla produzione, e quindi nella sicura influenza della dilatazione all'umidità del laterizio, oltreché dal fatto che questa non sarebbe sensibilmente impedita nei suoi effetti; apparirebbe quindi probabile ricondurre il distacco in questo caso agli effetti del ritiro del calcestruzzo di preintonaco (tanto più probabile quanto più elevate fossero le sue caratteristiche meccaniche), ma certamente possono aver contribuito altri fenomeni (temperatura, azioni longitudinali, tipo di blocco, ecc.) di cui si dirà più avanti.

b) nei solai (a blocchi interposti) di un fabbricato scolastico si è manifestato il distacco di parti complete di soffitti di aule e di spazi comuni. È stata accertata una sicura influenza dei cedimenti differenziali strutturali (erano ad esempio evidenti larghe fessure orizzontali alla base dei tramezzi esterni), oltre che di variazioni termiche differenziali specialmente nei solai di copertura; in altre zone appariva evidente l'influenza del «calzamento» di muri divisorii paralleli ai travetti in c.a., determinanti il cosiddetto «funzionamento a piastra» del solaio soprastante. La particolarità maggiore era comunque data dal fatto che i distacchi fossero avvenuti, oltre che in adiacenza alle zone ove erano possibili forti momenti negativi secondari in direzione perpendicolare ai travetti, anche al centro dei solai, in parti cioè notevolmente distanti dalle zone di momento negativo; tali distacchi non sono giustificabili con le spiegazioni classiche;

c) le parti di cartelle inferiori cadute in un altro complesso scolastico sono state attentamente analizzate nella zona di rottura, avvenuta esattamente all'attacco dei setti verticali con la cartella stessa. Imputando alla rottura per flessione e taglio trasversale (ormai accertato come fenomeno sicuro, anche se determinato da diverse cause assommate) quel tipo di distacco, si sarebbe dovuto riscontrare la presenza di parti integre di setto verticale in adiacenza al fondello, ovvero superfici di rottura ad andamento leggermente irregolare ma sensibilmente parallelo e poco discosto dal fondello stesso; si notavano invece rotture con contorni allargati rispetto allo spessore del setto verticale, infossate leggermente nella cartella inferiore, di

lunghezza di alcuni centimetri, dopo i quali la superficie di rottura era nuovamente compresa nel setto verticale. In tal caso, anche sulla base di esperimenti di laboratorio già eseguiti, non è apparso logico imputare la rottura ad azioni trasversali, bensì ad azioni in direzione della trafilatura (prevalentemente taglio ancora, ma con direzione perpendicolare a quella comunemente intesa);

d) le cadute di cartelle riscontratesi in solai di grandi dimensioni (luci superiori ai 10-15 m) su travature curve o portali di notevole luce, soggetti quindi particolarmente a movimenti lenti nel tempo che determinano forti deformazioni assolute e differenziali. Appare in tali casi relativamente agevole individuare l'origine del fenomeno, come pure eliminare l'inconveniente.

Da questo breve elenco di casi tipici si giustifica meglio l'affermazione di diversità tra la nostra realtà e quella francese citata, stante l'individuazione di fenomeni (e cause probabili) di sollecitazioni secondarie là non prese in conto, ovvero di fenomeni che non trovano spiegazione adducendoli alle cause «classiche» finora conosciute e studiate.

4. Prima di addentrarci nell'esame più approfondito del problema appare però interessante analizzare i dati quantitativi riguardanti i distacchi, sia sotto l'aspetto del numero complessivo di incidenti, sia in termini relativi alla quantità globale di solai a blocchi posti in opera.

Dalle indagini condotte in Francia ed in Italia il numero complessivo di incidenti rilevati dalla SO-COTEC e dall'ANDIL nel periodo 1974-1978 è risultato di qualche decina; va segnalato che in Francia i dati sono relativi ai soli casi per cui si è intentato il procedimento di rimborso assicurativo, mentre i dati ANDIL riguardano tutti i dissesti segnalati che, nella gran parte dei casi, non hanno determinato procedimenti legali.

Valutando fine a sé stessa la numerosità, questa può apparire sensibile e per taluni versi eccessiva. Se però si analizzano nel dettaglio i singoli casi, ed in particolare il numero di m<sup>2</sup> di solaio danneggiati ogni volta, si riscontra come questi siano di alcune decine, elevabili a poche centinaia quando, per interventi di ripristino, si demoliscano anche le parti adiacenti a quelle cadute. Considerando quindi che in Italia nel periodo 1970-1978 sono stati prodotti mediamente 68 milioni di m<sup>2</sup> annui di blocchi da solaio (comprendendovi i blocchi con alette, quelli interposti ed i pannelli), si conclude, che i m<sup>2</sup> caduti sono nel rapporto di 10<sup>-4</sup> rispetto a quelli prodotti. Questo consente di affermare, ritenendo doverosa la precisazione, che seppure rimane giustificata la preoccupazione per il ripetersi dei fenomeni, questi non sono certo complessivamente in misura eccessiva. A tal fine

comunque nella relazione del Prof. Levi è già stato detto ampiamente come questo Congresso dimostri, in positivo, l'intendimento di risolvere il problema affrontandolo a chiare lettere.

5. Volendo allora riportare i risultati di indagini e documentazioni relative agli ultimi 18 mesi, i fattori determinanti possono essere così elencati:

a) effetto piastra indotto da vincolo non strutturale;

b) effetto piastra indotto da vincolo strutturale o da orditura trasversale;

c) deformazioni differite delle strutture in calcestruzzo (viscose) e cedimenti differenziali;

d) ritiro del calcestruzzo formante soletta collaborante superiore;

e) ritiro del calcestruzzo di preintonaco in pannelli prefabbricati;

f) grandi luci;

g) rapporto spessore/luce dei solai, ovvero forte deformabilità;

h) variazioni termiche;

i) deficienze nel getto di calcestruzzo;

l) assenza totale o parziale di giunti di dilatazione;

m) mancanza di armatura disposta normalmente all'asse delle nervature o mancanza di nervature trasversali armate;

n) mancanza di adeguati controventi in strutture alte;

o) difetto di posa dei blocchi (non sfalsati, non a contatto in corrispondenza dei travetti, ecc.);

p) interasse dei travetti;

q) difetti geometrici e di forma del blocco;

r) presenza di rotture localizzate nei blocchi;

s) dilatazione all'umidità del laterizio;

t) difetti nell'argilla e di cottura.

Da questa elencazione, certamente non esaustiva ma indicativa dei principali aspetti, appare la possibilità di individuare tre gruppi di cause-effetti:

1) strutturali;

2) esecutivi;

3) connessi alla produzione dei blocchi.

Stante tutte le indicazioni avute finora, appare chiara la preponderanza dei primi due gruppi sul terzo, in quanto occorre una sollecitazione non preventivata o non tenuta in conto nelle fasi di realizzazione dell'opera, che determini, trasversalmente nel blocco, delle tensioni tali da provocarne la rottura. Risulta però meno facile imputare la rottura delle cartelle a cause univoche per ogni dissesto, così come sono emerse possibili (ma probabilmente non univoche) cause mai analizzate nei loro effetti fino a questo momento.

Appurato comunque che la gran parte degli inconvenienti verificatisi si sono manifestati dopo alcuni anni dall'esecuzione, è giustificato ammettere che in quel tempo abbiano modo di manifestarsi azioni diverse e cumulantesi: alcune con effetto ripetuto periodicamente, altre con effetto progressivo, altre ancora con effetto univoco: si pensi ad un solaio su pilotis, su scantinato o di copertura, certamente soggetto a variazioni termiche differenziali naturali od artificiali, ad assestamenti di natura viscosa o di cedimento dei vincoli ed a carichi accidentali come affollamenti, neve, ecc.

Ne risulta un effetto complessivo di «ginnastica delle sollecitazioni» progressivamente più consistente fino ad un massimo verosimilmente coincidente con la fine dello sviluppo dei fenomeni lenti nel calcestruzzo, di assestamento delle fondazioni, di assorbimento di umidità nel laterizio, ecc., che andrebbe comparato con la resistenza ultima a carichi ripetuti dei laterizi.

6. La ricerca non poteva comunque essere impostata direttamente in termini di combinazioni probabilistiche di azioni, in quanto troppo esigui erano i dati conoscitivi sulla reale influenza di ogni singolo fattore.

Si sono quindi eseguite le sperimentazioni illustrate qui di seguito.

*A. Simulazioni di azioni trasversali sul blocco laterizio* - Si è proceduto alla messa a punto di un programma di calcolo automatico che permettesse di simulare effetti qualsiasi su un blocco tipo (con alette) schematizzandolo come telaio piano a comportamento elastico lineare. La sezione trasversale del blocco è riportata nella figura 2. Le azioni simulate (come forze unitarie esterne) sono indicate nella figura 3.

Il caso 1 permette di considerare sia effetti di deformazioni imposte per effetto piastra, sia azioni termiche, di ritiro, di dilatazione all'umidità, agenti in corrispondenza della cartella inferiore del blocco.

Il caso 2 consente di simulare le azioni precedenti quando agiscono sulla parte superiore del blocco.

Il caso 3 consente la simulazione di flessioni trasversali indotte da variazioni termiche differenziali, od altre cause.

Le azioni di cui ai casi 1 e 2 sono state simulate su blocco libero e su blocco facente parte dell'insieme blocco-travetto; per questo secondo aspetto il blocco può ancora pensarsi libero, ma con le pareti laterali ispessite (omogeneizzando il calcestruzzo a laterizio), in modo da comprendere le rispettive metà dei travetti adiacenti, la soletta collaborante superiore e il preintonaco inferiore.

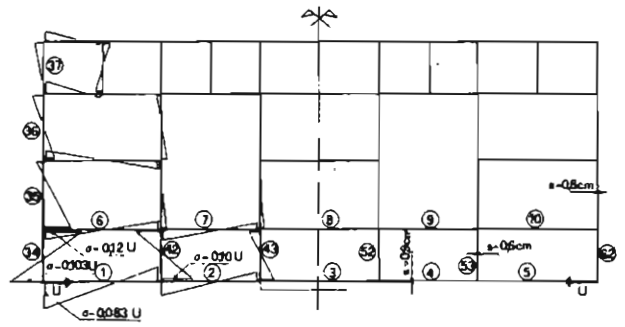


Fig. 2 - Schema di un blocco per il quale è stato messo a punto un programma di calcolo automatico, considerandolo come telaio piano a comportamento elastico lineare.

Le azioni di cui al caso 3 sono state simulate su blocco avente le pareti laterali rigide (la schematizzazione appare accettabile considerando che la rigidità flessionale di quelle pareti aumenta di circa 200 volte tenendo conto della metà del travetto a contatto) ed ammettendo perfetta aderenza tra laterizio e calcestruzzo.

Per il solo caso 1 poi sono state simulate le rotture in corrispondenza dell'attacco dei setti verticali con la cartella inferiore, analizzando la modificazione dello stato di tensione interno (a parità di sollecitazione esterna) rispetto al blocco integro. Nella figura 2 è riportato l'andamento degli sforzi flessionali nelle varie parti del blocco quando lo stato di tensione imposto sulla cartella inferiore sia unitario.

Si constata come la massima tensione raggiunga circa il valore di 1/10 (trazione per flessione) di quella applicata (compressione o trazione pura) e come le stesse tensioni si smorzino con estrema rapidità. Stante le luci libere dei setti orizzontali e verticali, non appaiono influenti i fenomeni di instabilità anche per tensioni effettive considerevoli.

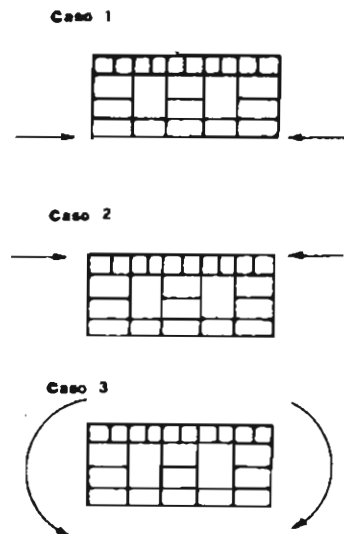


Fig. 3 - Azioni simulate come forze unitarie esterne.

Nella figura 4 è invece riportato il modificarsi dello stato di tensione quando si sia ammessa la rottura progressiva dei setti verticali intermedi. La variazione quantitativa non risulta però sensibile mentre, specialmente quando si sia manifestata la rottura di più setti, risultano probabili effetti considerevoli di instabilità nella cartella inferiore. È evidente che le considerazioni fatte sono valide per un blocco geometricamente perfetto.

Poco sensibili appaiono invece le tensioni che insorgono per azioni sulla parte superiore del blocco, così come praticamente nulli sono gli effetti di flessione sulle parti interne del blocco quando questo sia sottoposto a coppia esterna.

**B. Effetto del ritiro del calcestruzzo** - Qualora il calcestruzzo sia a contatto con il laterizio (soletta superiore o preintonaco inferiore), il fenomeno del ritiro non si manifesta liberamente essendo parzialmente impedito dalla presenza del laterizio, per cui introduce in questo sforzi di compressione. Per contro il calcestruzzo risulta teso. Il fenomeno, che si manifesta dal momento in cui lo stesso calcestruzzo non è più in grado di modellarsi plasticamente per effetto della sua variazione volumetrica, provoca compressioni crescenti nel laterizio fino al punto in cui viene raggiunta la resistenza a trazione (fessurazione). Lo stesso fenomeno è peraltro notevolmente complicato dal contemporaneo manifestarsi del fluage indotto dallo stato di tensione di ritiro. I dati assoluti di ritiro sono stati determinati in laboratorio su una vasta gamma di cementi italiani (6) e su 2 francesi. In particolare su provini (secondo la normativa italiana) di pasta, malta e calcestruzzo, assumendo come sola variabile il tipo di cemento; corrispondentemente si sono effettuate le prove di compressione-trazione. Per i vari tipi di cemento e per i tre tipi di confezione si sono ottenuti i campi di variabilità indicati nella tabella 1.

Il comportamento è stato assai simile tra i cementi di produzione italiana e francese.

Essendo risultato più pericoloso, ai fini delle sollecitazioni interne al blocco, lo stato di tensione presente nella cartella inferiore, e tenuto conto di un valore finale di ritiro a 28 giorni di 0,4 mm/m con uno spessore di preintonaco di cemento di 1,5 cm, sul blocco di figura 2 si ottiene:

— compressione nella cartella inferiore: 5,2 MPa;

— trazione per flessione massima (conseguente al precedente stato di tensione):  $0,1 \times 5,2 = 0,52$  MPa.

**C. Sollecitazioni termiche ripetute** - Le prove sono state eseguite con l'ausilio di sei lampade da 350 W disposte come in figura 5 in modo tale da

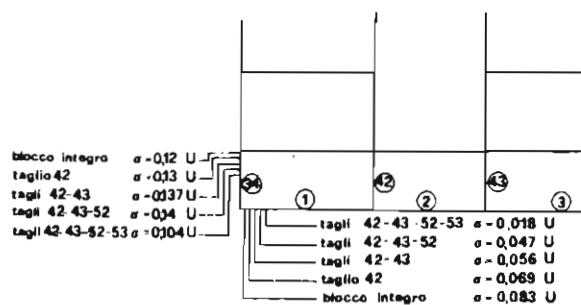


Fig. 4 - Stati di tensione derivanti dalla rottura progressiva dei setti verticali intermedi.

provocare variazioni termiche uniformi sull'intera cartella inferiore del blocco. Per consentire di ottenere fasi di riscaldamento e raffreddamento sufficientemente rapide ed egualmente distribuite nel tempo, si è messo a punto un sistema di ventilazione attivato al termine di una fase di riscaldamento ed interrotto all'inizio della successiva (quando la temperatura della cartella inferiore ritornava alla temperatura ambiente).

Va notato che il ventilatore 1, coassiale con le lampade e disposto dalla parte opposta del blocco, era sempre mantenuto in funzione durante la fase di riscaldamento per evitare che il calore di convezione facesse variare la temperatura delle altre parti del blocco.

La temperatura della cartella inferiore era rilevata da un sistema di termocoppie ad essa collegate e registrata in diagramma da un'apposita centralina tarata sull'intervallo 23-63°C.

L'attacco ed il distacco delle lampade e dei ventilatori era comandato automaticamente dalla stessa centralina. La temperatura ambiente è rimasta costante a  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , mentre il limite inferiore dello sbalzo termico è stato fissato leggermente al di sopra della stessa per evitare i lunghi tempi di raffreddamento occorrenti in prossimità della temperatura ambiente.

Le prove sono state eseguite sia su blocco libero, che su blocco contrastato in prossimità della cartella inferiore da due barre d'acciaio di 36 mm di diametro.

Durante le prove, condotte con cicli di 20 mi-

Tabella 1  
Risultati delle prove sui cementi

	pasta	malta	calcestruzzo
Ritiro 90 gg ( $\epsilon 10^{-4}$ )	237,5 ÷ 452,5	86,2 ÷ 131,9	40 ÷ 60,2 (65 gg)
Compressione a 28 gg. (MPa)	84,5 ÷ 101,4	36,7 ÷ 59,3	non eseguito
Trazione 28 gg. (MPa)	5,43 ÷ 11,4	7,1 ÷ 9,5	non eseguito

nuti ciascuna ed ininterrottamente per il numero di cicli riportato sotto, è stata rigorosamente controllata la modificazione dello stato di fessurazione presente all'inizio della prova nel blocco ed inoltre sono state rilevate periodicamente le dilatazioni della cartella inferiore e le variazioni di distanza relativa delle basi dei setti verticali in corrispondenza di quest'ultima. La disposizione delle basi Staeger estensimetriche è illustrata nelle figure 5 e 6.

Risultati ottenuti:

— su blocco libero: la dilatazione misurata è risultata di  $0,15 \times 10^{-3}$ ; sempre in riferimento ai risultati di cui in A, si ottengono le sollecitazioni:

$$\sigma = 0,85 \text{ MPa}$$

La durata di questa prova è stata di 1.000 cicli;

— su blocco impedito: la dilatazione misurata è stata in questo caso di  $0,05 \times 10^{-3}$ , per cui:

$$\sigma = 2,5 \text{ MPa}$$

La prova è stata ripetuta per circa 1.500 cicli.

D. *Prova di flessione statica e ripetuta sui setti verticali inferiori del blocco* - Mediante taglio della cartella inferiore del blocco in corrispondenza dell'attacco con i setti verticali, si sono resi liberi gli stessi, ponendoli in condizione di comportarsi come mensole incastrate in corrispondenza dei nodi interni. Per consentire una disposizione corretta del blocco nella macchina di prova è risultato opportuno «legarlo» sulle pareti laterali con del calcestruzzo ed una leggera armatura metallica, come rappresentato nella figura 7.

In particolare è stato anche eliminato il setto perimetrale per consentire il passaggio del dispositivo di carico e non ricorrere a complesse procedure, con il pericolo di falsare notevolmente i risultati di prova. La ripartizione del carico, sull'intera lunghezza del setto, era assicurata mediante preventivo attacco, sulla sua estremità, di una barretta di rigidità sufficiente. La sollecitazione imposta, riproduce verosimilmente lo stato di sollecitazione reale che, tramite deformazione della cartella inferiore, induce spostamenti e carichi nei setti adiacenti.

L'apparecchiatura utilizzata è la MTS che consente indifferentemente l'imposizione di spostamenti o di carichi con leggi di variazione qualsiasi. Nel caso specifico furono imposti i carichi (stante le rotazioni che i setti avevano in corrispondenza del loro incastro), misurando comunque gli spostamenti; nel caso di carico ripetuto il periodo era di 5 secondi.

I risultati sono stati:

— setto 1: carico di 30 kg (spostamento misurato di 0,2 mm) applicato in modo ripetuto che ha provocato la rottura del setto (in corrispondenza del suo incastro nel nodo interno) dopo 450 cicli.

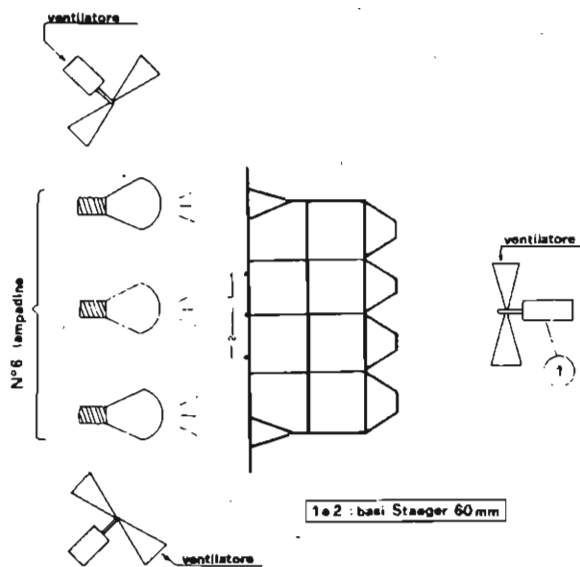


Fig. 5 - Prova n. 1 a sollecitazioni termiche ripetute.

Nella superficie di rottura si è evidenziata la presenza di un nodulo di materiale non omogeneizzato alla massa che ha certamente influenzato il comportamento del setto sotto carico. La tensione di rottura (per il carico applicato) calcolata ipotizzando un comportamento elastico del materiale è risultato di 7 MPa;

— setto 2: durante l'incremento del carico (nella sua prima applicazione) si è manifestata la rottura per un valore di 23 kg;

— setto 3: analogo al setto 1 con rottura dopo 1.560 cicli. Complessivamente si riscontra un comportamento molto irregolare dovuto a:

— presenza di noduli di materiale non omogeneo;

— non planarità del setto, che determina una concentrazione di sforzi in particolari punti con influenza sul valore complessivo di rottura;

— influenza non prevedibile delle fessure di intestatura che sono spesso presenti nei blocchi;

— influenza di microfessure che possono alterare notevolmente il comportamento a carico ripetuto.

E. *Valutazione dell'effetto piastra* - Si assuma un caso ricorrente di solaio di edificio residenziale con portata di travetti di 5 m, costruito con travetti prefabbricati e blocchi interposti dello spessore complessivo di 20 cm; parallelamente ai travetti si ipotizzi la presenza di divisori rigidi e perfettamente calzanti sotto il solaio. Si ipotizzi il comportamento a piastra del solaio ammettendo che due dei suoi lati (di appoggio dei travetti) siano semincastrati ed i rimanenti due incastrati (dall'ipotesi di calzamento dei muri divisori) e che siano presenti opportuni ripartitori trasversali onde assicurare la continuità delle deformazioni. Si voglia

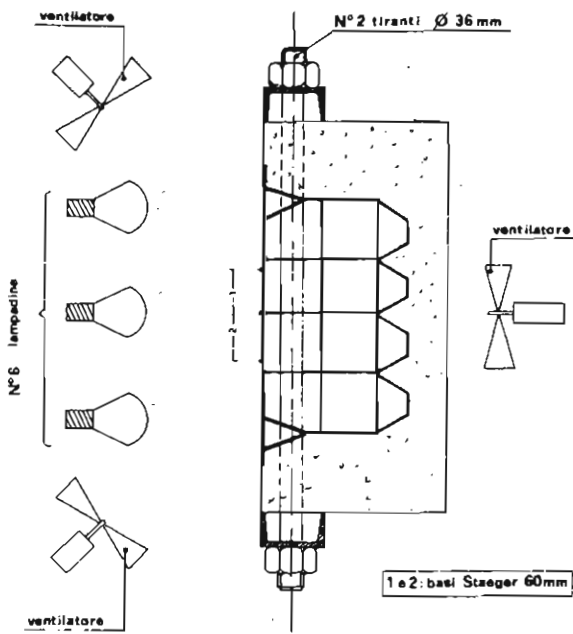


Fig. 6 - Prova n. 2 a sollecitazioni termiche ripetute.

valutare l'effetto di compressione nella cartella inferiore dei blocchi in direzione trasversale alla trafilatura. La freccia elastica in mezzeria del solaio nell'ipotesi di rapporto tra i lati di 1,5 risulta:

$$\eta = 0,0025 p l^4 / B = 1,3 \text{ mm}$$

avendo assunto i dati necessari dalle normative sui carichi sulle costruzioni e dai cataloghi tecnici dei solai.

La deformazione elastica così trovata va poi incrementata, per i fenomeni viscosi, del doppio del suo valore, ottenendo una deformazione complessiva a lungo periodo di circa 4 mm. Ipotizzando ancora che l'andamento trasversale delle deformazioni (nella sezione centrale del solaio) abbia l'andamento indicato nella figura 8 e che la distanza tra i punti di freccia massima ed il muro divisorio sia di circa 3 m si ottiene:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{0,5 \times 0,4}{150} = 1,33 \times 10^{-3}$$

La deformazione della cartella inferiore del blocco risulta quindi (interasse 50 cm tra travetti adiacenti):

$$\Delta l = 2/3 (10 \cdot \operatorname{tg} \alpha/2) = 0,89 \cdot 10^{-2} \text{ cm}$$

mentre lo stato di tensione consegue in:

$$\sigma = \Delta l / i \cdot E = 0,89 \cdot 10^{-2} \cdot 20000 / 50 = 3,5 \text{ MPa}$$

Si deve tenere presente che il modello assunto può essere molto impreciso. Ad esempio nella realtà, l'influenza del sottofondo di pavimento e lo stesso pavimento alterano considerevolmente lo stato di deformazione; è altrettanto possibile che il comportamento a piastra del solaio sia molto diminuito da imperfezioni costruttive, il che si avvi-

cinerebbe al comportamento di trave sem incastrata, la cui deformazione elastica risulterebbe di  $3 p l^4 / 384 E I$ , ovvero di circa 3 mm. Le tensioni risulterebbero di conseguenza triplicate rispetto alle precedenti. Appare comunque logico dedurre che, in uno stato intermedio tra i due considerati, le tensioni nel laterizio si avvicinino al limite ammesso dalla legislazione italiana vigente.

**F - Valutazione dell'effetto di dilatazione all'umidità** - È già stato accennato alla differenza sostanziale di comportamento alla dilatazione all'umidità tra i laterizi italiani e quelli francesi. Questo deriva dalla più elevata quantità di calce presente nelle nostre terre. La dilatazione media all'autoclave qui riscontrata è quantificabile in 0,6 mm/m (pur rimanendo punte parecchio superiori), a fronte del limite imposto di 1,6 mm/m dalla normativa francese. Questo ci permette di considerare un valore medio effettivo, a lungo periodo, di 0,3 mm/m, essendo riconosciuto che il rapporto tra realtà e simulazione in autoclave è al massimo di 0,5 (si riscontra infatti che a forti dilatazioni all'autoclave possono corrispondere deboli dilatazioni reali, ma che mai a basse dilatazioni all'autoclave corrispondono elevate dilatazioni reali). Se quindi si suppone la dilatazione impedita da vincoli di qualsivoglia natura, gli sforzi nella cartella inferiore del blocco risultano:

$$\sigma = \varepsilon E = 0,03 \cdot 10^{-1} \cdot 2 \cdot 10^5 = 0,6 \text{ MPa}$$

col che gli sforzi di trazione per flessione nei setti verticali adiacenti hanno valori oscillanti intorno a 0,06 MPa.

**G. Effetto delle variazioni termiche** - Si deve tenere presente che questo fenomeno si produce sull'insieme laterizio-calcestruzzo, per cui entrano in gioco complesse interazioni dovute sia alla differenza dei coefficienti di dilatazione termica dei due materiali (rapporto  $\alpha_{\text{lat}} / \alpha_{\text{cls}}$  variabile tra 0,3

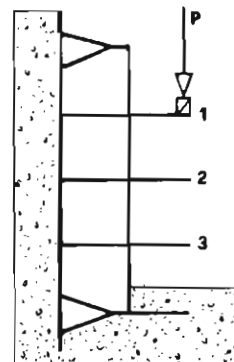


Fig. 7 - Prova di flessione sui setti verticali inferiori.

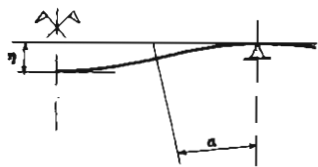


Fig. 8 - Andamento della deformazione del solaio dovuta all'effetto piastra.

e 0,5), sia all'effettiva unione che si realizza nel solaio tra i due materiali. Le azioni che si possono sviluppare sono sia longitudinali (dovute ad impedimenti reciproci alle deformazioni a seconda del segno della variazione termica), sia trasversali (dovute all'impedimento esercitato sul blocco quando vi sia aumento di temperatura).

Particolarmente interessante appare la possibilità di perdita di aderenza (in pratica distacco delle parti) nei blocchi con alette, in corrispondenza del fondo del travetto in calcestruzzo. Ammettendo infatti le citate differenze di coefficienti di dilatazione termica e tenendo conto della bassa inerzia termica dell'aletta del blocco (spessore 8 mm) si può intuire che le due superfici a contatto siano soggette a «ginnastica» tendente a farle scorrere relativamente; se si pensa inoltre che in quelle zone il getto presenta spesso delle discontinuità (difetto di bagnatura dei blocchi, non completo ricoprimento delle armature metalliche, segregazione dell'inerte del calcestruzzo in fase di getto, ecc), si deduce come la perdita di aderenza non sia improbabile. Si ottengono quindi situazioni con le alette libere, ovvero in condizioni più delicate in presenza di azioni trasversali (ed in taluni casi anche longitudinali).

La valutazione degli sforzi di aderenza, nell'ipotesi di un  $\alpha$  differenziale di  $0,5 \cdot 10^{-5} \text{ C}^{-1}$  e di impedimento completo per il laterizio, comporta, per gli spessori usuali delle alette, delle tensioni tangenziali dell'ordine di 0,1 MPa per ogni grado centigrado. La valutazione effettiva del fenomeno risulta facile, potendo ipotizzare sbalzi termici di 10-15°C specialmente in locali ove, nel periodo invernale, il riscaldamento viene interrotto periodicamente.

H - *Influenza della geometria del blocco* - Dalle indagini svolte risultano le seguenti considerazioni qualitative:

— è generalmente negativa la presenza di elementi curvilinei nelle parti interne del blocco, in quanto queste male si adattano a sopportare gli sforzi secondari elencati e che determinano sollecitazioni flessionali notevoli, con deformazioni facilmente superiori a quelle ammissibili per le caratteristiche «fragili» del laterizio;

— appare generalmente positivo un incremen-

to degli spessori dei setti e delle pareti, ma sembra più razionale pensare che non tanto influisce lo spessore in assoluto, quanto la diversità negli spessori tra le diverse parti (diverso risulta il comportamento del blocco in fase di essiccazione-cottura ed in esercizio);

— è probabile il benefico effetto dell'uniformità dimensionale dei fori interni, sempre a fronte, principalmente, del comportamento del blocco nella fase di produzione;

— appare analogamente probabile l'influenza dell'interesse tra i travetti e quindi della larghezza dei blocchi, che dovrebbe essere limitata a convenienti valori;

— non è sufficientemente comprovato il benefico effetto del raddoppio della cartella inferiore quando si abbiano disegni che non comportano grosse luci nette tra i setti;

— appare benefica la presenza di spigoli arrotondati in corrispondenza delle unioni tra i setti intermedi.

I. *Difetti dei blocchi* - È comunemente comprovato che la presenza di difetti nei blocchi (in particolare le fessure longitudinali) riduce la loro attitudine all'impiego; tuttavia è tollerabile una certa presenza di questi difetti senza particolari pregiudizi accertati (a questo fine le sperimentazioni condotte sono di riferimento). Allo stato attuale risultano accettabili le indicazioni al riguardo contenute nella normativa francese.

7. Dai risultati sperimentali e valutazioni di calcolo appena elencati risulta complessivamente che:

— le cause possibili hanno degli effetti, seppure diversi quantitativamente, che non possono con sicurezza essere disposti in ordine di pericolosità;

— le cause stesse sono assai numerose e, a parte pochi casi, non scindibili completamente per la valutazione dei loro effetti.

Dagli stessi effetti tuttavia sono traibili alcune conclusioni sicure, in particolare per quanto attiene al ruolo determinante delle cause denominate strutturali ed esecutive, specialmente in riferimento alla loro manifestazione spesso contemporanea ed in sovrapposizione agli effetti ambientali (condizioni termoigrometriche). Appare quindi necessario impostare delle raccomandazioni tecnico-progettuali che meglio possano approfondire i singoli aspetti riguardanti i solai misti con impiego di blocchi laterizi.

8. In affiancamento alle cause ritenute principali (strutturali ed esecutive) sono però apparse significative le influenze di difetti nei blocchi che finora sono state valutate per lo più qualitativa-

mente. Ci si riferisce in particolare alle risultanze ottenute dalle prove di carico ripetute che hanno presentato notevole dispersione di risultati. Si è organizzata quindi una successiva fase di sperimentazione tendente ad appurare la presenza di stati di coazione nelle parti del blocco, in quanto l'aver appurato che i distacchi avvengono in conseguenza del sommarsi e del ripetersi di varie azioni, comporta l'accertamento del comportamento del blocco a queste sollecitazioni e altresì l'influenza complessiva, ai fini della sua stabilità, di stati di tensione già presenti in esso alla posa in opera.

Questa fase, notevolmente complessa dal punto di vista della realizzazione pratica, ha comportato l'attrezzatura del blocco laterizio con basi estensimetriche (Staeger) e con estensimetri elettrici, in modo tale da poter individuare sia deformazioni e dilatazioni longitudinali e trasversali, sia spostamenti relativi delle parti (figg. da 9 a 14).

La posizione dei tagli effettuati ed il loro susseguirsi temporale sono indicati nella figura 14.

L'impossibilità di procedere ai tagli con ricorso a macchine utensili (si sarebbero potute produrre temperature elevate, assorbimento di umidità nel caso di taglio ad umido con conseguenti lunghi tempi di essiccazione e raffreddamento), data la possibilità di alterazione dei risultati, ha determinato la necessità di operare a mano con l'impiego di idonei seghetti. Dopo ciascun taglio (longitudinale), effettuato mediamente in un'ora, si lasciava il blocco in assestamento termico per circa mezz'ora prima di effettuare le letture estensimetriche (si riscontrava infatti un aumento di temperatura di 4-5°C nelle parti del blocco, dovute al solo maneggiamento).

L'intera operazione è avvenuta in camera condizionata con temperatura ed umidità costanti dopo aver lasciato il blocco in assestamento per alcuni giorni.

L'analisi dei risultati ha evidenziato la presenza diffusa, in tutte le parti del blocco, di stati di coazione che sono così elencabili (si nota che si è proceduto ad una apposita determinazione del modulo elastico del laterizio impiegato nelle prove, che è risultato di  $1,7 \cdot 10^4$  MPa):

— trazione per flessione nei setti verticali inferiori (misure effettuate sulle basi 1÷4 dopo i tagli 1÷7) (figura 13): a fronte di spostamenti relativi medi di  $15 \mu\epsilon$  si ottengono tensioni di circa 0,4-0,8 MPa;

— stato di tensione assiale sulla cartella inferiore del blocco: in direzione longitudinale si sono accertate dilatazioni medie di  $1 \cdot 10^{-4}$  comportanti tensioni di 1,7 MPa; in direzione trasversale le stesse dilatazioni hanno valori inferiori corrispondenti mediamente a tensioni di 1 MPa;

— stato di tensione assiale sui setti verticali: in

direzione longitudinale si è riscontrata prevalenza nei confronti di quella verticale e le tensioni medie corrispondenti sono della stessa entità di quelle trovate sulla cartella inferiore. Per tutte le determinazioni sono state riscontrate punte di tensione superiori ai valori (medi) indicati.

I risultati ottenuti in quest'ultima fase sperimentale hanno quindi confermato che all'interno del blocco sono effettivamente presenti stati di coazione derivanti dalla produzione; seppure quindi con mancanza di validità statistica, le risultanze indicano che alle cause strutturali e di esecuzione che quantitativamente hanno un'incidenza determinante nelle sollecitazioni secondarie sul blocco, si sovrappongono delle «concause» proprie dei laterizi e determinantesi nelle fasi di loro produzione. In particolare, a parità di composizione delle terre, sono determinanti la fase di essiccazione (per le fessure) e quella di cottura (per le autotensioni).

9. Il lavoro sperimentale, di documentazione e di studio fin qui condotto ci permette di affermare che è prevalente, nella realtà italiana, ai fini del manifestarsi dei distacchi di parti laterizie nei solai, l'alternanza delle sollecitazioni prodotte da molteplici cause strutturali ed esecutive che agiscono su un elemento avente caratteristiche proprie particolari (concause) e provocano in que-

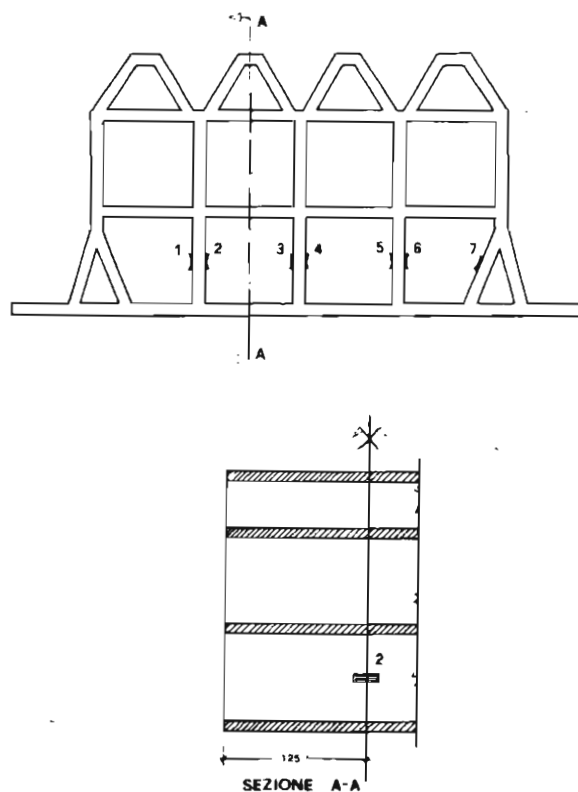


Fig. 9 - Basi estensimetriche sui setti interni verticali (disposte longitudinalmente).

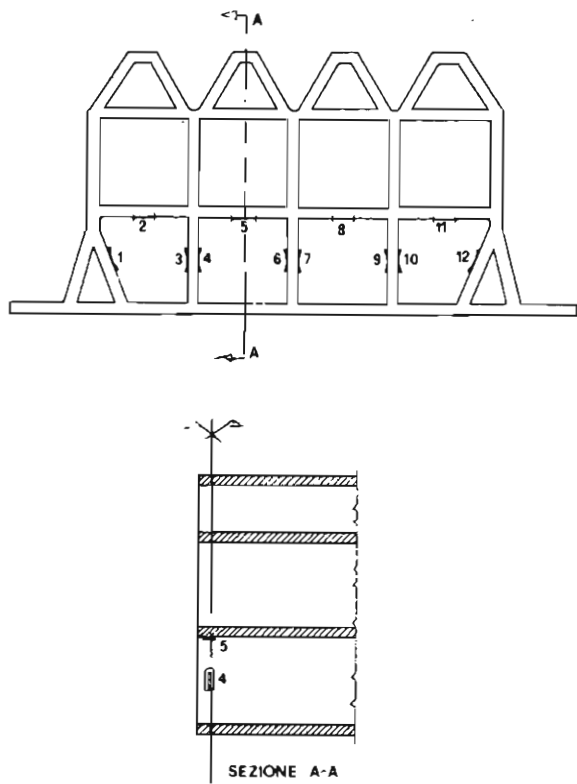


Fig. 10 - Basi estensimetriche disposte sulle pareti interne dei fori in prossimità della testata del blocco (in direzione trasversale)

st'ultimo, a lungo periodo, dei meccanismi di collasso.

Una verifica «a priori» dell'idoneità della tipologia strutturale potrebbe quindi essere impostato definendo un modello matematico che individui i confini del campo di sicurezza per l'elemento laterizio da solaio nelle sue varie applicazioni. Tuttavia (e l'esperienza francese lo dice) il lavoro per giungere a tali conclusioni è lungo e complesso. In aggiunta, in Italia si riscontra la necessità di definire relazioni più ampie che meglio si adeguino alla nostra realtà. Va reso comunque evidente che i notevoli sforzi in atto per il controllo della produzione dei materiali e componenti rende ottimisti sulla possibilità di giungere alla definizione più dettagliata della variabilità propria di ciascuno dei fattori in esame e quindi di mettere a punto dei metodi analitici di verifica.

10. Come già accennato in precedenza, è comunque possibile sin d'ora proporre dei suggerimenti di ordine tecnico ed esecutivo che possono limitare drasticamente le probabilità di manifestazioni dei fenomeni lamentati. Si aggiunge che la stessa proposta CNR, di cui ha parlato il prof. Levi, che analizza nel dettaglio molte proprietà fisiche e meccaniche dei laterizi da solaio, costituisce già un passo significativo in questa direzione. I suggerimenti possono essere classificati in struttu-

rali, esecutivi e connessi alla produzione dei blocchi.

#### A - Strutturali

a) Effetto piastra indotto da vincolo non strutturale: tenendo opportunamente in conto le deformazioni proprie del solaio nel lungo periodo, si dovrà evitare di introdurre, mediante tramezzi rigidi, dei vincoli supplementari non previsti nello schema strutturale di calcolo.

b) Effetto piastra indotto da vincolo strutturale o da orditura trasversale: il caso può manifestarsi in prossimità dei lati perimetrali di edifici ovvero in zone interne ove, parallelamente ai travetti del solaio, siano presenti travi fuori spessore (o comunque elementi con rigidità flessionale e torsionale elevata); analogo fenomeno può presentarsi, nelle zone perimetrali degli edifici, in prossimità di sbalzi di luce notevoli (balconi, volumi aggettanti, ecc.) e particolarmente se l'orditura portante degli stessi è disposta perpendicolarmente a quella del solaio interno adiacente.

In tali casi è opportuno disporre un'armatura di piccolo diametro in senso trasversale o prolungare adeguatamente nel solaio interno le armature della parte a sbalzo (onde ripartire la sollecitazione torsionale su una maggiore estensione di solaio).

c) Deformazioni differite delle strutture in calcestruzzo e cedimenti differenziali: anche se in tali casi il fenomeno è di difficile valutazione, esso va attentamente analizzato in sede preventiva, in quanto il suo manifestarsi provoca gli effetti di cui ai precedenti a) e b). Una limitazione del fenomeno, oltre che connessa a problemi esecutivi (qualità del calcestruzzo), è possibile anche con una limitazione della deformabilità delle strutture.

Una valutazione analoga va posta in riferimento ai cedimenti differenziali connessi all'interazione terreno-struttura.

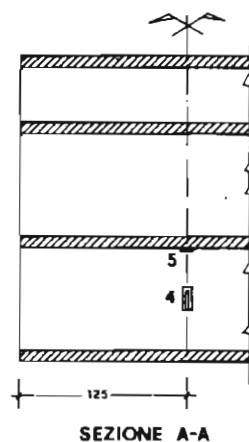


Fig. 11 - Basi come in figura 10 disposte a metà lunghezza del blocco.

d) Grandi luci: questo è un aspetto particolare in riferimento alle coperture di edifici speciali, ove sono impiegati schemi strutturali (piani o curvi) generalmente complessi. In conseguenza delle forti deformazioni che in tali casi si possono manifestare, diventano evidenti gli effetti della «ginnastica» delle sollecitazioni esterne, nei blocchi. Può quindi essere conveniente prevedere in tali casi l'impiego di armature leggere al di sotto dei laterizi, collegate agli stessi ed inserite nell'intonaco di ricoprimento.

e) Mancanza di adeguati controventi in strutture alte: è questo un aspetto particolare se visto in relazione al distacco di parti laterizie nei solai, in quanto le controventature sono espressamente regolamentate per tali fabbricati ed in modo specifico per le costruzioni in zone sismiche, a fronte della sicurezza complessiva delle opere. Tuttavia alcune valutazioni degli effetti delle sollecitazioni trasversali sull'intero edificio, anche quando questo sia di «minore importanza», sono necessarie in quanto, se mancano strutture idonee, il loro effetto viene incassato e trasmesso dai solai.

f) Rapporto luce-spessore dei solai: l'indicazione, al punto 7.1.3.3 delle norme ministeriali per il calcolo e l'esecuzione delle opere in cemento armato, del limite minimo di  $1/30$  dovrebbe essere più specificato in relazione alla effettiva applicabilità di tale minimo e con maggior riferimento alla pratica corrente. Risulta infatti raro riscontrare nella realizzazione di edifici a destinazione corrente (abitazioni, scolastici, commerciali, ecc.) un rapporto spessore-luce di  $1/30$  a fronte principalmente (e connesso alle modalità esecutive correnti quando non si impieghi il precompresso) delle tensioni che si determinerebbero nei materiali costituenti il solaio in conseguenza dei carichi di esercizio. Il pratico superamento (in taluni casi considerevole) di tale limite, oltre che essere già di fatto un elemento favorevole al comportamento dei blocchi laterizi, potrebbe fornire lo spunto per articolare maggiormente il minimo al citato paragrafo in relazione alla destinazione d'uso del fabbricato, ovvero indicare diversi valori a seconda dei tipi di solai previsti (in tradizionale, ad elementi prefabbricati in c.a. normale o precompresso, a lastre, ecc.). Sarebbe opportuno inoltre un completamento del 2° comma dello stesso articolo in riferimento alla compatibilità delle deformazioni con gli elementi costruttivi collegati al solaio, in particolare dettagliando maggiormente i vari casi esposti nei precedenti punti a), b).

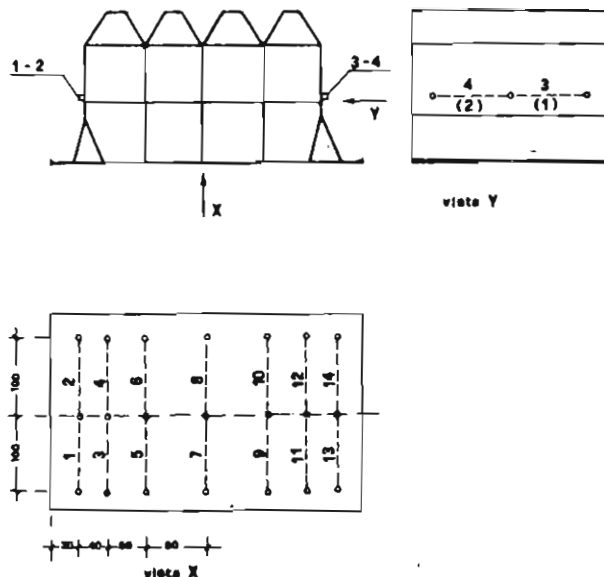


Fig. 12 - Basi estensimetriche Staeger disposte sulle pareti laterali del blocco (in direzione longitudinale).

impiegato ed alle modalità di posa in opera; appare quindi possibile, dovendo ipotizzare il mantenimento di una determinata classe di resistenza, incidere maggiormente sul controllo del rapporto acqua-cemento, sulla corretta granulometria degli inerti, sull'impiego di vibratori, eventualmente di additivi e degli accorgimenti atti a proteggere il getto dalle influenze ambientali; tutti questi elementi sono infatti determinanti per il valore finale di ritiro.

b) Ritiro del calcestruzzo di preintonaco in pannelli prefabbricati: è questo un fenomeno, manifestatosi in alcuni prefabbricati, che ha destato preoccupazioni al suo insorgere, in quanto si verificava anche a stoccaggio nel cantiere di produzione, e quindi a breve tempo dalla confezione. Le soluzioni sono poi state in gran parte date dagli stessi produttori, a seguito di prolungati esperimenti che avevano tra l'altro fatto chiaramente imputare al ritiro del calcestruzzo di preintonaco la causa prima dell'inconveniente. In quel caso si è operato su:

- riduzione dello spessore di preintonaco;
- riduzione del contenuto di cemento o impiego di malta bastarda;
- modifica del disegno del blocco;
- riduzione della lunghezza delle alette e quindi collegamento del travetto in calcestruzzo al preintonaco sottostante.

L'impiego di additivi, tentato in via preliminare a parità di composizione del calcestruzzo, non aveva dato sicuro riscontro positivo.

c) Variazioni termiche: l'effetto delle variazioni termiche può essere controllato in via indiretta, operando sullo spessore o sulla luce del solaio e sullo schema strutturale (per ridurre la deformabi-

#### B - Esecutivi:

a) Ritiro del calcestruzzo formante soletta superiore collaborante: la riduzione del fenomeno è connessa strettamente alla qualità del calcestruzzo

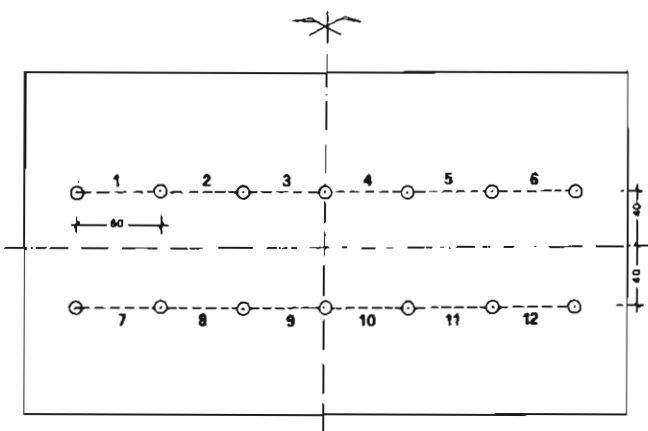
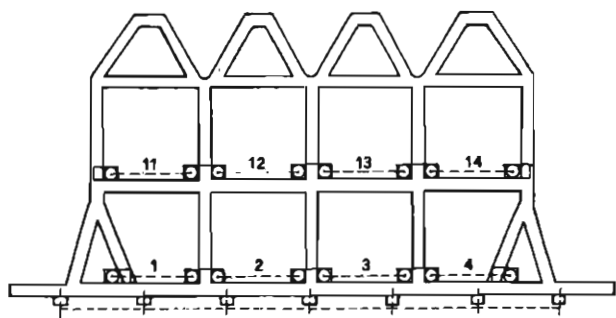


Fig. 13 - Basi estensimetriche Staeger disposte sulle testate del blocco e sulla cartella inferiore in direzione trasversale.

lità complessiva). Per garantire una maggiore aderenza tra laterizio e calcestruzzo è necessario porre adeguata attenzione alla fase di getto.

d) Assenza totale o parziale di giunti di dilatazione: gli effetti imputabili alla non corretta disposizione o mancanza di giunti di dilatazione sono evidenti, per cui la loro idonea previsione è indispensabile.

e) Mancanza di armatura normale all'asse dei travetti o assenza di nervature trasversali armate: al punto 7.1.3.7 delle norme ministeriali sui solai misti è previsto l'inserimento di nervature trasversali armate qualora la luce del solaio superi i 5 m. Risulterebbe più completo il riferimento al rapporto tra i lati del solaio ed al rapporto spessore/luce, quest'ultimo già limitato in relazione alla deformabilità della struttura.

È ancora opportuno il riferimento alle zone di solaio in cui sono prevedibili momenti negativi trasversali (funzionamento a piastra), ove la presenza di nervature trasversali armate limiterebbe notevolmente la compressione trasversale nei blocchi.

È pure da sottolineare l'esigenza di prevedere una leggera armatura trasversale in un numero di casi più ampio di quello attualmente indicato dal citato punto delle norme, prevalentemente in dipendenza del rapporto tra i lati del solaio e non in semplice riferimento alla luce.

f) Deficienze di getto del calcestruzzo: si è già

detto in precedenza del ritiro del calcestruzzo, influenzato direttamente dalla qualità dell'impasto e dalla sua protezione dopo il getto. Si accenna qui in particolare a:

— fenomeni di segregazione degli inerti per cattivo dosaggio dei componenti o per difetto di pompaggio;

— importanza di una corretta previsione e disposizione delle riprese di getto quando queste siano necessarie;

— importanza di un conveniente ricoprimento delle armature metalliche;

— bagnatura dei laterizi, fino a rifiuto, prima dell'inizio delle operazioni di getto.

g) Difetti di posa dei blocchi: si comprendono con tale denominazione tutte quelle imperfezioni, indipendenti dalle qualità meccaniche e geometriche, che ne possono determinare il non corretto comportamento:

— nel caso di solai gettati in opera (blocchi con alette) i blocchi devono risultare perfettamente allineati in senso longitudinale onde evitare discontinuità nella sezione del travetto in c.a.;

— non si debbono impiegare blocchi quando questi abbiano subito danni a pie' d'opera, nel trasporto, ecc., occorre poi sostituirli in caso di danneggiamento da calpestio o cadute di oggetti nella fase che precede il getto;

— nel caso di blocchi interposti si deve porre attenzione quando questi non possano appoggiare correttamente (o risultino forzati) sul bordo del travetto, per erronea disposizione dello stesso o per sua curvatura in senso orizzontale;

— in generale, nel caso di leggeri difetti di planarità nelle testate dei blocchi si deve evitare il contatto in punti localizzati o, quando questo non sia eliminabile, curare il perfetto riempimento dei vani durante il getto del calcestruzzo. La stessa cura deve porsi nel caso di blocchi aventi funzione statica di collaborazione col calcestruzzo, in corrispondenza degli smussi di intestatura.

### C - Connessi alla produzione dei blocchi

a) Interasse delle nervature: la dimensione dei blocchi risulta notevolmente differenziata, non so-

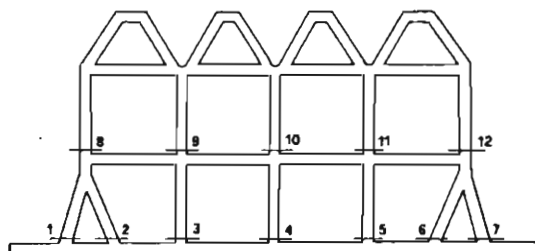


Fig. 14 - Posizione dei tagli e loro successione temporale.