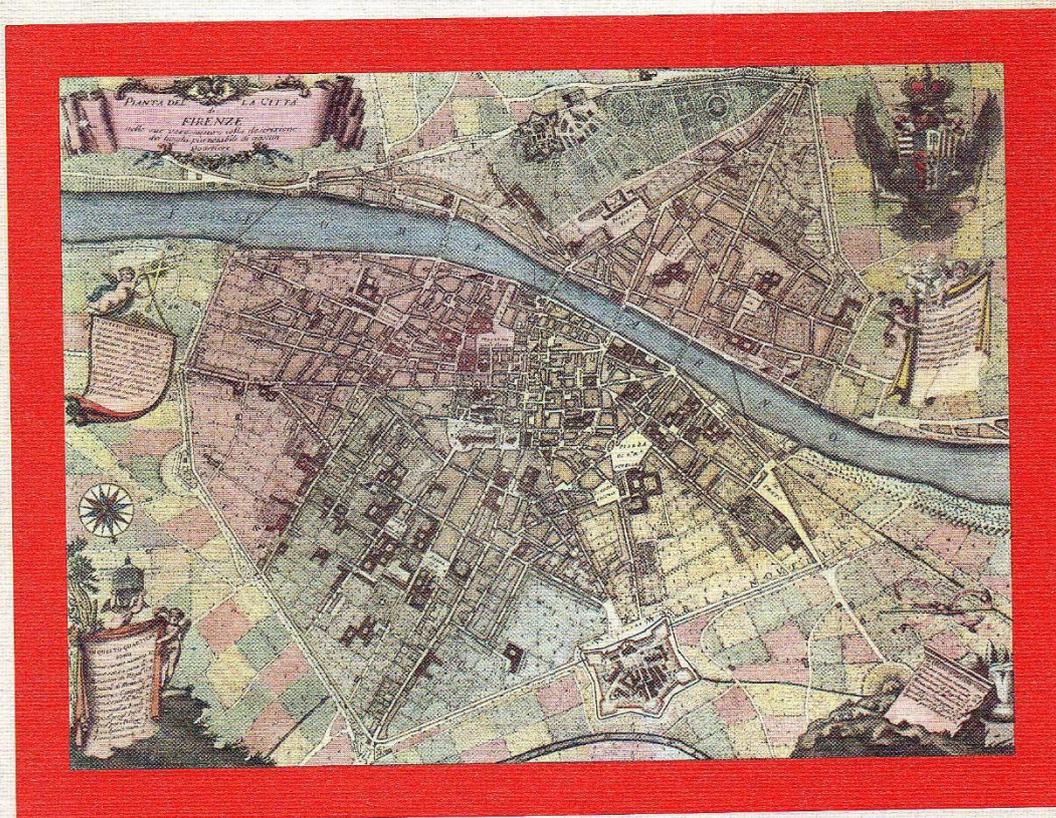


dte

collegio dei tecnici della industrializzazione edilizia

atti del congresso cte 1984 sulla industrializzazione edilizia

firenze 9-10-11 novembre 1984



a cura della segreteria cte

Francesco Cantoni, Gianni Ferrari, dell'ICITE di
SAN GIULIANO MILANESE

Bruno Della Bella, della PRECOMPRESSI CENTRO NORD di
CERANO

Filiberto Finzi, professionista in MILANO

VERIFICHE E PROVE DISTRUTTIVE SU PANNELLI DI SO
LAIO ALVEOLARI SINGOLI E SU IMPALCATI OTTENUTI
DALL'ASSOCIAZIONE DEGLI STESSI.

- prove su elementi normali e su elementi con
"difetto esecutivo" per le verifiche prelimina
ri di "serie controllata".

Summary

A few tests on hollow prestressed slabs are reported.
The tests were carried on units normally casted and
units with "production mistakes" like the ones that a
possible malfunctioning of the production machines may
produce (like concrete ribs broken, low quality of con
crete, etc.). Bending, Shear tests are shown in both si
tuations (normal and with p.m.); two diffusion test, or,
if preferred, tests on the effect of concentrated loads
on slabs composed by prefab units linked together by
low quality concrete (below 20 N/mm²) with and without
steel rods of connection are shown.

Generalità

Il complesso di prove avanti descritto fa par
te di una ricerca più ampia iniziata dal repar
to strutture dell'ICITE nella tarda primavera
del 1983 ed attualmente in corso di conclusio
ne e di elaborazione dati.

La ricerca generale è finalizzata alla realiz
zazione di un confronto tra diverse tipologie

(Nota) La prova degli elementi singoli è stata
realizzata su banchi mobili ICITE e con l'attrez
zatura ancorabile ICITE descritta nella presen
te nota, su luce netta 4,80 mt senza cordoli di
testata.

Il banco fisso per le prove di diffusione, di
pari luce, è attrezzato con una attrezzatura ad
anello fissabile allo stesso anch'essa descrit
ta nella presente nota.

Anche su questo non sono stati realizzati cor
doli di testata per esasperare gli effetti di

di solai, confronto mirato più che ad una pura
analisi del comportamento degli stessi allo
stato limite ultimo (modalità di collasso dei
vari "sistemi" tecnologici proposti) alla veri
fica dell'influsso del cosiddetto "difetto ese
cutivo" o se si preferisce delle conseguenze
che l'errore tecnologico comporta sulla produ
zione.

E' stato perciò necessario verificare con cu
ra le diverse tecnologie produttive individuand
o, con la fattiva collaborazione dei prodotto
ri stessi, le possibili "grane" che normalmen
te sorgono e cercando di misurare le consequen
ze di questi errori.

L'analisi è stata per ovvie considerazioni di
tempo, disponibilità ed economia (l'onere del
la ricerca è stato infatti interamente sostenu
to dall'ICITE e dai produttori direttamente in
teressati e che si desidera qui ringraziare)
limitata solo ad alcuni tipi di solaio.

Cercando una maggiore completezza d'indagine
ben difficilmente si sarebbe potuto arrivare a
qualche risultato in tempi ragionevoli; infat
ti i sistemi di realizzazione degli elementi
prefabbricati da solaio sono molteplici e, an
che se ci si limita ad analizzare solo quelli
in c.a. il campo d'indagine resta vasto.

I motivi di questa pluralità di soluzioni
sono di ordine tecnico ed economico; lentamen
te si è passati dai solai tradizionali in late
rizio gettati in opera a quelli prefabbricati
in c.a.p..

I primi sono però ancora usati in larga misu
ra; si è verificato il fatto che un nuovo tipo
non ha soppiantato completamente il vecchio ma

non uniformità e verificare così meglio il com
portamento dei giunti.

I martinettifissi sono Controls da 30 tonn e quel
lo mobile è un General Hydraulic da 20 tonn. Le
misurazioni sono realizzate, oltre che con iso
liti manometri di controllo, con celle di cari
co D.S. - ANNA da 50 tonn con sistema di ali
mentazione e lettura Metrocom.

Per contrasti, flessimetri (centesimali e mil
lesimali) e diffusori si veda documentazione
fotografica.

trovato un proprio spazio d'impiego.

La scelta di un tipo è determinata non tanto da considerazioni prestazionali quanto dalla disponibilità e dalla capacità di messa in opera esistente in un determinato cantiere, oltre naturalmente dalle preferenze del singolo progettista e costruttore.

Si è pensato quindi di comparare varie soluzioni, almeno dal punto di vista elasto-meccanico, eseguendo prove su diversi tipi di solai tutti progettati per il medesimo sovraccarico (400 Kg/mq) e per la medesima luce (4,80 netta-5,00 fuori tutto).

Va subito precisato che questa scelta (medesima luce e sovraccarico) potrebbe apparire irrazionale e limitata; infatti le caratteristiche di un solaio sono funzione della luce e del carico e quindi ogni tipo dovrebbe essere analizzato per determinati luci e carichi.

E' evidente la complessità di un simile approccio, si è quindi pensato di limitare il problema; infatti anche una indagine limitata ha una propria validità ipotizzando alcune caratteristiche meccaniche (es. i meccanismi di rottura) principalmente funzione delle sollecitazioni locali piuttosto che della geometria del solaio.

Per necessità, in questa ricerca la parte economica (costi, trasporto e messa in opera) è stata completamente trascurata.

Le prove avevano il solo scopo, analizzata la fase elastica, di vedere i limiti del sistema; in particolare il momento di fessurazione, la freccia massima, la collaborazione tra i vari elementi, la rottura a taglio e specialmente l'influenza di eventuali difetti di produzione e messa in opera ed in genere il comportamento a rottura.

Come già accennato per quanto riguarda i difetti di produzione conseguenti ad errori tecnologici, umani ed a rotture di macchine, etc. ci si è valse della collaborazione dei produttori dei singoli componenti e tipi. Senza questa collaborazione la ricerca sarebbe stata assolutamente sterile.

Non è stato analizzato il problema della fa-

tica e dei carichi a lunga durata per limitazione di tempo e finanziamento. Ci si propone perciò di riprenderlo ed approfondirlo in un secondo tempo, come ci si propone anche di cercare di estendere e controllare quanto trovato analizzando altri tipi di solaio e solai simili a quelli già verificati ma prodotti da altri produttori.

Un'altra finalità della ricerca in generale e delle verifiche sui solai alveolari in particolare era controllare se le procedure di "Serie controllata" che la bozza di normativa sui prefabbricati prevede fossero effettivamente gestibili. Al riguardo conviene ricordare che il reparto strutture dell'ICITE partiva da una posizione di forte svantaggio: non erano infatti disponibili attrezzature preesistenti per il compito specifico (prove sui cantieri di produzione e realizzazione di campi prove adeguati per le prove di diffusione dei carichi e di collaborazione dei componenti).

Ciò nonostante, grazie alla collaborazione fattiva dei "soggetti" delle verifiche, grazie anche alla buona volontà dell'officina ICITE si è, investendo gli scarsi fondi disponibili, potuto in breve tempo realizzare una attrezzatura mobile (un anello di prova di giunti di grandi pannelli reso ancorabile a qualunque buon pavimento industriale ed un sistema di bracci di carico e di appoggi mobili) ed un efficace banco di diffusione (anch'esso facilmente ancorabile) con martinetto mobile che, abbinati al semplice sistema di attuatori e di celle carico, già messo a punto per le prove su giunti a grandi pannelli, mettono a punto una attrezzatura mobile che ha consentito di soddisfare le richieste con relativa facilità.

Per concludere su questo argomento si può dire che, se esiste la volontà di fare e la collaborazione dei produttori, non vi sono particolari ostacoli o difficoltà per il raggiungimento dell'obiettivo "verifica della serie controllata ed individuazione di possibili errori tecnologici sistematici".

Resta quindi al produttore il compito del costante controllo di qualità (intervento su produzioni totalmente atipiche) ma il laboratorio

ufficial
gi con l
mezzi pe

Occor
rifica
pia to
ca: è
di can
misura
errore
è per
preci
o per
giust

Desc
c.a.

La
sola
que
pro
da
pis
sui

le
di
de
t
p
c
z

ufficiale può verificare, o se si preferisce, ha oggi con la collaborazione del produttore, tutti i mezzi per effettuare serie e sollecite verifiche.

Occorre però naturalmente non confondere la verifica tecnologica (per sua stessa natura ad ampia tolleranza) con le "misure fini" della ricerca: è chiaramente impossibile, nelle condizioni di cantiere, anche usando tecniche semplici di misura (come le celle di carico etc.) ridurre l'errore dell'operatore sotto qualche per cento ed è perciò inutile e costoso usare strumenti con precisione sotto l'1-2% la cui compromissione o perdita per i "casi" del cantiere non sarebbe giustificabile.

Descrizione delle prove sui solai alveolari in c.a.p.

La prima tipologia esaminata è stata quella dei solai alveolari precompressi. L'interesse per questa tipologia nasceva dalle caratteristiche produttive: - i manufatti sono infatti generati da macchine formatrici mobili che percorrono una pista di 100-200 mt estrudendo, sulle trecce o sui trefoli pretesati, le sagome volute.

È estremamente difficile disporre armature lente disposte in modo affidabile (che non siano disposte sul fondo) e anche piccole variazioni della costanza dei calcestruzzi utilizzati (tutti, necessariamente, di elevatissima qualità) possono portare problemi alla macchina formatrice generando "strappi" nei sette di calcestruzzo nella fase di formazione.

La possibilità, sempre presente per ogni precompressione a fili aderenti, di avere al rilascio un imperfetto funzionamento della precompressione anche ben oltre il normale tratto di testata (e, purtroppo, negli ultimi anni si sono avuti nel settore diversi esempi di guai prodotti dal così detto "scorrimento dei trefoli" anche con materiale stabilizzato) è anch'essa un problema tipico e grave di queste produzioni che, per quanto detto prima, non sono staffate neppure nelle zone d'ancoraggio dei trefoli.

L'assenza di armatura lenta infine ha particolare rilevanza ai fini della resistenza allo scorrimento soprattutto per gli elementi fortemente precompressi (provocando le cosiddette aperture

"a bocca di cocodrillo").

Dato che altri ricercatori (Politecnico di Torino) si sono interessati e si stanno interessando agli ultimi due problemi si è preferito concentrare l'attenzione sul primo simulando malfunzionamenti delle macchine operatrici e variazioni di qualità del calcestruzzo estruso in modo da produrre la distruzione di alcuni setti nella zona di testata (2 o 4 setti, vedi la documentazione fotografica allegata) e la mal esecuzione della testata stessa (di solito invece molto "nitida" perchè ottenuta con un taglio a sega disco diamantata).

Si sono provate diverse altezze di solaio da 12 a 24 cm di pari luce e *dimensionati per gli stessi sovraccarichi*.

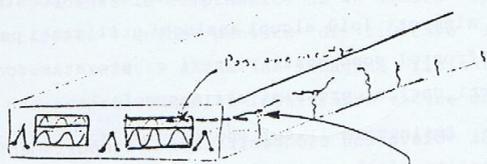
Sono state dapprima condotte prove realizzando dei carichi eguali ai 1/4 degli elementi, in modo d'avere momento costante e taglio nullo su una zona importante di solaio e poi gli stessi elementi (più alcuni analoghi utilizzati per confronto) sono stati ripresi e provati con forti carichi prossimi all'appoggio.

Si voleva con ciò verificare il comportamento e le modalità di rottura a flessione pura e a taglio (dominante) e flessione. Nelle foto allegate si evidenziano le modalità delle rotture e l'entità delle deformazioni in gioco.

Come ci si attendeva l'influsso dei "difetti esecutivi" è stato nullo (anche a rottura) per le prove di flessione. Le modalità di rottura a flessione sono invece state piuttosto inconsuete, come si può vedere dalle sequenze fotografiche riportate; comparsa la prima classica serie di fessure di flessione queste si sono propagate, incrementando i carichi, verso l'attacco delle costole in calcestruzzo alla tavola superiore (corrispondente circa alla posizione dell'asse neutro per la sezione fessurata), giunte in prossimità delle stesse si formano delle classiche forme ad "idra" che, incrementando ancora i carichi, tendono a degenerare in forme a T fino a che, incrementando ancora i carichi ed aumentando le deformazioni si arriva o allo sparo delle trecce tese (per le sezioni alte) o alla disgregazione della sezione compressa.

In tutte le rotture di elementi realizzate con lo schema "a momento costante" (oltre 15) si è ritrovato lo stesso meccanismo di rottura qui riportato. Si ha cioè la conferma che è lo scorrimento il fenomeno dominante per le grandi deformazioni.

Anche per quegli elementi cui erano stati interrotti quattro setti per testata non sono stati notati "disturbi" nella modalità di rottura per flessione ed il rientro delle trecce in testata, pur esistendo, era limitato a pochi millimetri (2-3). Si deve ricordare che fenomeni di scorrimento (ed anche 1-2 formazioni ad "idra") sono stati notati anche per alcune delle "predalles", provate nelle prove di comparazione successive (su cui si riferirà in altro articolo), nella zona superiore al traliccio di armatura ma ancora inferiore alla tavola superiore.



Zona interessata allo scorrimento anche nelle predalles

Fig. 1

Nelle prove di taglio successive si sono ottenuti risultati "classici" in pieno accordo con le previsioni appena dopo la zona d'appoggio si sono innescate fessure a 50-55° su tutti i setti quasi contemporaneamente e, fatti salvi i classici fenomeni tipici della zona di concentrazione di carico, le rotture sono avvenute per distruzione della zona compressa.

L'influsso del "difetto esecutivo" è stato questa volta più apprezzabile ma più perché favoriva lo scorrimento delle trecce che non per la vera e propria riduzione di sezione.

Anche qui si rimanda all'allegato fotografico per i dettagli; si deve però ancora notare che anche, per le rotture a taglio (o meglio a flessione), si è avuta una discreta gradualità e deformazioni di discreta entità.

I valori trovati sono da 2 a 3 volte superiori

a quelli del taglio corrispondente a rottura della sezione con carico uniformemente distribuito (caso prossimo alla situazione di carico più probabile).

Si potrebbe perciò concludere che la sezione dei setti che collegano la tavola inferiore a quella superiore è decisamente sovrabbondante e tale da reggere anche in condizioni di macchina formatrice che procede a strappi.

Si ha cioè che la situazione "setti massacrati dalla macchina malfunzionante" non è in sé pericolosa; lo diviene solo se la cattiva qualità del calcestruzzo (a trazione) non consentisse un contemporaneo scorrimento delle trecce. Postulata una buona precompressione dello stato dei setti con il dimensionamento verificato nel caso in esame, non è rilevante ai fini della sicurezza (sempre che "sopravviva" almeno la metà degli stessi).

Nelle rotture a taglio si sono notati fenomeni di scorrimento ma, come è ovvio, unidirezionali

Si è voluto infine verificare più che la vera e propria efficacia dei dettagli di diffusione elastica dei carichi (già analizzata sperimentalmente da Avanzini e Migliacci fin dal 1971) se la qualità dei calcestruzzi di solidarizzazione (la qualità del calcestruzzo prodotto in piccole quantità nei cantieri di montaggio è per solito pessima) avesse importanza nella realizzazione della diffusione dei carichi e se l'aggiunta di "chiavi" di ferro fosse o meno significativa.

Si desiderava anche verificare se la non esistenza di un'armatura di diffusione fosse tale da rendere problematico l'uso di questi componenti in presenza di forti carichi fortemente concentrati

Si sono così realizzati due piccoli impalcanti (vedi documentazione fotografica) gettando i giunti con calcestruzzo di resistenza inferiore ai 200 Kg/cm², uno senza ed uno con l'aggiunta di "chiavi" di ferro, (vedi di nuova documentazione fotografica).

Il tutto è stato volutamente mal appoggiato sul banco di sostegno in modo da simulare una condizione di appoggio "reale" (incrementando

zazione di "chiavi"armate, pur in condizioni di grave difetto esecutivo, per il calcestruzzo dei getti di completamento..

Si spera di poter riprendere al più presto l'analisi sperimentale con altre forme (ad esempio solai a 11) di cui sarebbe interessante verificare il rifluimento viscoso nel tempo.

Fenomeni di questo tipo sono infatti non rilevabili in sezioni come quelle dei solai alveolari, che essendo sostanzialmente simmetriche non presentano rischio di importanti variazioni di "forma" (passaggio da monta a freccia ad esempio) nel tempo.

Gli autori desiderano ringraziare il Dott. Ing. Matteo Ferri che con il suo sostegno ed incoraggiamento ha reso possibile l'avvio della ricerca.

Il presente articolo fa riferimento ai rapporti di prova:

- ICITE 840705/845 "Prova di taglio su elementi di solaio alveolari in c.a.p. in condizioni normali e con difetti esecutivi" di F.Cantoni, G.Ferrari, F.Finzi, M.Sommadossi e B.Della Bella,

- ICITE 840704/846 "Prova di diffusione di carico e collaborazione su impalcati costituiti da elementi alveolari con giunzioni armate e non, con getti integrativi realizzati con calcestruzzo di cattiva qualità (difetto esecutivo)" di F. Cantoni, G. Ferrari, F. Finzi, M. Sommadossi e B. Della Bella,

-ICITE 840912/859 "Prove di flessione su elementi di solaio alveolari in c.a.p. in condizioni normali e con difetto esecutivo", di F. Cantoni, G. Ferrari, F. Finzi, M. Sommadossi e B. Della Bella,

ed al testo della ricerca generale (ancora in laborazione) su "Prove comparative allo stato limite ultimo di solai di media luce, realizzati con diverse tecnologie".

così le sollecitazioni sui giunti).

Si è dapprima verificata la simmetria del comportamento elastico del sistema confrontando le deformazioni ottenute applicando un carico concentrato (su un tondo da circa 20 cm di diametro) prima a destra poi a sinistra.

I flessimetri erano disposti lungo la luce in mezzzeria degli elementi e a cavaliere dei giunti (15 + 1 di guardia) ed hanno denunciato un buon comportamento simmetrico ed elastico del sistema. Si è poi proceduto ad applicare carichi diffusi con una putrella di circa 80 cm (in tutti i casi tali da portare il carico su un solo elemento) e si è ripetuto il ciclo trovando risultati analoghi.

Il comportamento dei due sistemi (con e senza ferro) in campo elastico è stato sostanzialmente identico. Ben diverso è stato invece il comportamento a rottura (o meglio al disassemblamento dell'impalcato).

Le modalità di prima rottura sono state sempre identiche: si formava una grossa crepa nella zona di mezzzeria dell'elemento caricato e si sconnettevano i giunti (vedi documentazione fotografica).

Nell'impalcato con elementi di connessione in ferro si potevano però incrementare ancora i carichi di oltre 2500 Kg (su 8500) prima di arrivare ad un vero e proprio collasso del sistema per carico concentrato. Anche qui si può notare che ci si trova di fronte a valori dei carichi concentrati assai elevati e tali da fugare ogni timore che carichi concentrati reali (piedini di macchine, librerie, etc.) possano nei casi reali creare problemi.

Resta però interessante notare che l'aggiunta di modesti spezzoni di ferro (su elementi identici!) ha spostato il crollo di oltre il 30%!

Questo fatto ha dei risvolti particolarmente importanti per impalcati in zona sismica e giustifica il dettato della nuova normativa sui solai che richiede questo tipo di solidarizzazione.

Sono nel seguito riportati le tabelle ed i diagrammi di alcune delle prove effettuate.

Si conta, in un prossimo futuro di poter ri-

prendere l'argomento e di poter fornire in forma più organica agli interessati tutti i dati raccolti nella campagna di misure in modo da consentire una rielaborazione degli stessi condotta in modo più significativo di quanto fatto finora dagli autori della presente ricerca.

Tutto il materiale (foto, tabelle, residui, rottami delle prove) è però fin da ora disponibile per consultazione presso il reparto strutture dell'ICITE (Sesto Ulteriano, San Donato Milanese) per tutti gli interessati.

Conclusioni

A valle della verifica tecnologica condotta, gli autori non vedono particolari problemi per il controllo della serie di manufatti esaminati tramite un ragionevole controllo periodico su 2-3 pezzi/anno, un controllo della qualità del calcestruzzo ed una verifica settimanale della precompressione (materiale e macchine).

Il problema del difetto esecutivo generato dalla macchina formatrice dei solai alveolari sembra essere, almeno per il tipo esaminato, di secondaria importanza.

Prima fessura, rottura a momento costante e rottura a taglio verificano in pieno le previsioni di calcolo fatte dal progettista (Nota 1), il comportamento degli impalcati a punzonamento è, in fase elastica, prevedibile con il metodo già esposto da Avanzini-Migliacci (ed approssimabile con quanto indicato nella nuova normativa CNR).

Risulta invece totalmente nuovo, almeno agli autori della presente nota, anche se a posteriori facilmente spiegabili, il meccanismo "ad idra" di propagazione delle crepe nel manufatto e risulta assai indicativo (ed anche qui facile da giustificarsi a posteriori) della possibilità di incrementare la resistenza ai carichi concentrati in condizioni di dissesto strutturale, il notevole incremento raggiunto con la realiz-

(Nota 1) Vedi al riguardo le tabelle di calcolo della PCN a firma dell'Ing. Bruno Della Bella relative al deposito Ministero LL.PP.

6.4 Pannello EGF H 12

Area calcestruzzo

Momento statico al lembo inf.

Distanza del baricentro dal lembo inf.

Distanza del baricentro dal lembo sup.

Momento d'inerzia baricentrico

$A_c = 826,8 \text{ cm}^2$
 $S_{inf.} = 5384 \text{ cm}^3$
 $X' = 6,24 \text{ cm}$
 $X = 5,76 \text{ cm}$
 $J_c = 14480 \text{ cm}^4$

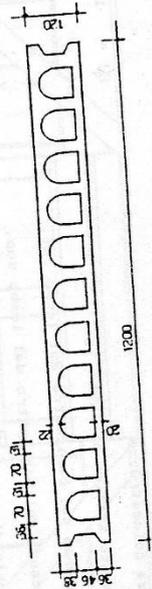


Fig. 2 Pannello RMP = h 12

6.5 Pannello EGF H 16

Area calcestruzzo

Momento statico al lembo inf.

Distanza del baricentro dal lembo inf.

Distanza del baricentro dal lembo sup.

Momento d'inerzia baricentrico

$A_c = 1106,5 \text{ cm}^2$
 $S_{inf.} = 8885 \text{ cm}^3$
 $X' = 8,03 \text{ cm}$
 $X = 7,97 \text{ cm}$
 $J_c = 33716 \text{ cm}^4$

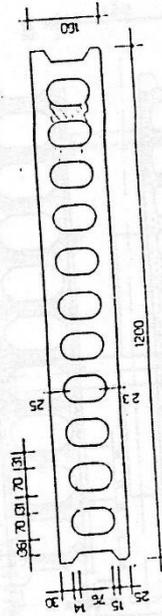
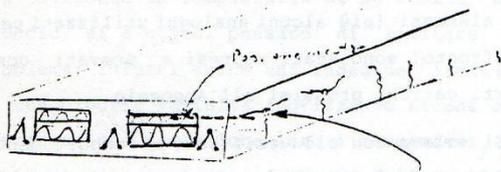


Fig. 3 Pannello RMP = h 16

si è ritrovato lo *stesso* meccanismo di rottura qui riportato. Si ha cioè la conferma che è lo scorrimento il fenomeno dominante per le grandi deformazioni.

Anche per quegli elementi cui erano stati interrotti quattro setti per testata *non* sono stati notati "disturbi" nella modalità di rottura per flessione ed il rientro delle trecce in testata, pur esistendo, era limitato a pochi millimetri (2-3). Si deve ricordare che fenomeni di scorrimento (ed anche 1-2 formazioni ad "idra") sono stati notati anche per alcune delle "predalles", provate nelle prove di comparazione successive (su cui si riferirà in altro articolo), nella zona *superiore* al traliccio di armatura ma ancora inferiore alla tavola superiore.



Zona interessata allo scorrimento anche nelle predalles

Fig. 1

Nelle prove di taglio successive si sono ottenuti risultati "classici" in pieno accordo con le previsioni appena dopo la zona d'appoggio si sono innescate fessure a 50-55° su tutti i setti quasi contemporaneamente e, fatti salvi i classici fenomeni tipici della zona di concentrazione di carico, le rotture sono avvenute per distruzione della zona compressa.

L'influsso del "difetto esecutivo" è stato questa volta più apprezzabile *ma più perché favoriva lo scorrimento delle trecce che non per la vera e propria riduzione di sezione.*

Anche qui si rimanda all'allegato fotografico per i dettagli; si deve però ancora notare che anche, per le rotture a taglio (o meglio a flessione) si è avuta una distruzione

istribuito (caso prossimo alla situazione di carico più probabile).

Si potrebbe perciò concludere che la sezione dei setti che collegano la tavola inferiore a quella superiore è decisamente sovrabbondante e tale da reggere anche in condizioni di macchina formatrice che procede a strappi.

Si ha cioè che la situazione "setti massacrati dalla macchina malfunzionante" *non* è in sé pericolosa; lo diviene solo se la cattiva qualità del calcestruzzo (a trazione) non consentisse un contemporaneo scorrimento delle trecce. Postulata una buona precompressione lo stato dei setti con il dimensionamento verificato nel caso in esame, *non* è rilevante ai fini della sicurezza (sempre che "sopravviva" almeno la metà degli stessi).

Nelle rotture a taglio si sono notati fenomeni di scorrimento ma, come è ovvio, unidirezionali

Si è voluto infine verificare più che la vera e propria efficacia dei dettagli di diffusione elastica dei carichi (già analizzata sperimentalmente da Avanzini e Migliacci fin dal 1971) se la qualità dei calcestruzzi di solidarizzazione (la qualità del calcestruzzo prodotto in *piccole* quantità nei cantieri di montaggio è per solito pessima) avesse importanza nella realizzazione della diffusione dei carichi e se l'aggiunta di "chiavi" di ferro fosse o meno significativa.

Si desiderava anche verificare se la non esistenza di un'armatura di diffusione fosse tale da rendere problematico l'uso di questi componenti in presenza di forti carichi fortemente concentrati

Si sono così realizzati due piccoli impalcati (vedi documentazione fotografica) gettando i giunti con calcestruzzo di resistenza inferiore ai 200 Kg/cm², uno senza ed uno con l'aggiunta di "chiavi" di ferro, (vedi di nuovo documentazione fotografica).

4.6 PANNELLO RAP 20

Area calcestruzzo	$A_c = 1388.4 \text{ cm}^2$
Momento statico al lembo inf.	$S_{inf} = 13995 \text{ cm}^3$
Distanza del baricentro dal lembo inf.	$X' = 10.08 \text{ cm}$
Distanza del baricentro dal lembo sup.	$X = 9.92 \text{ cm}$
Momento d'inerzia baricentrico	$J_c = 44747 \text{ cm}^4$

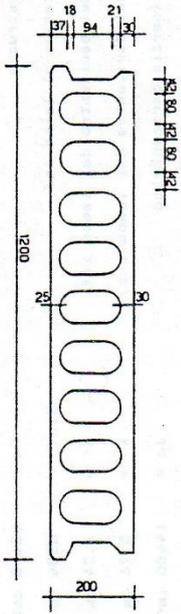


Fig. 4

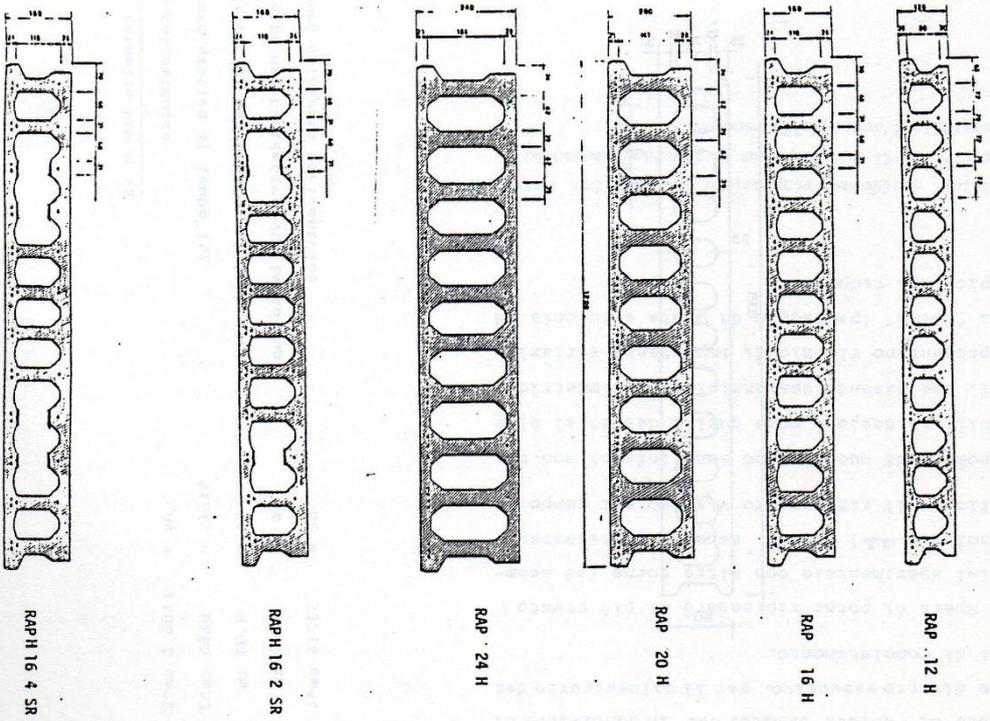
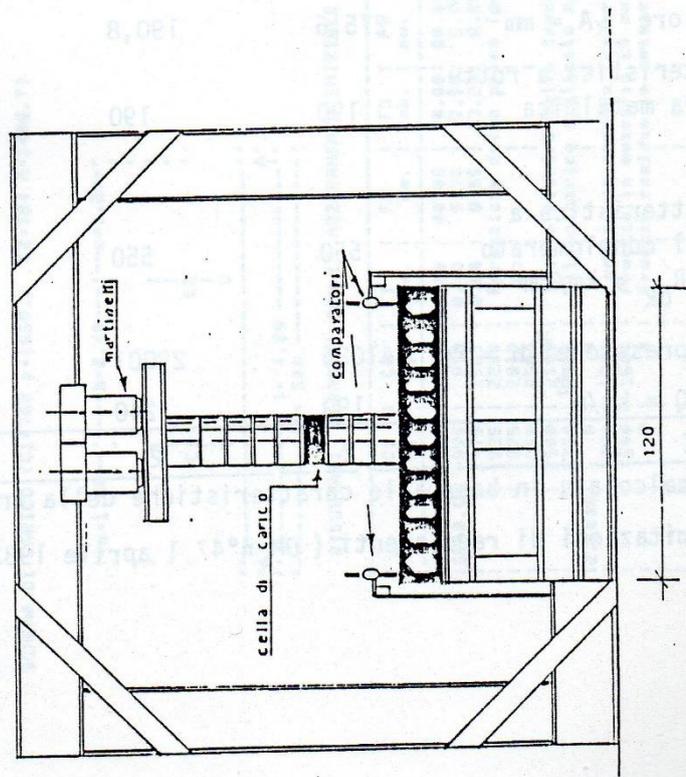
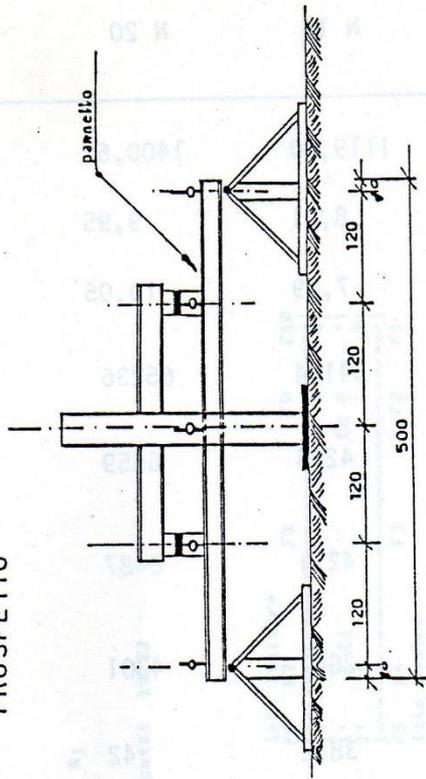


Fig. 5

ATTREZZATURA DI PROVA



PROSPETTO



PIANTA

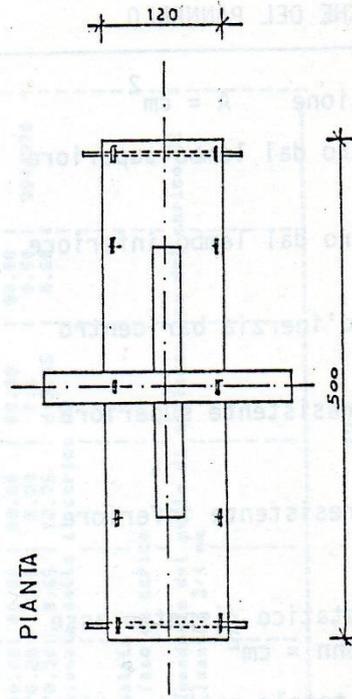


FIG. 6

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E MECCANICHE DEL PANNELLO	N 12	N 16	N 20	N 24
Area sezione $A = \text{cm}^2$	880,82	1119,20	1400,6	1564,39
Baricentro dal lembo superiore $x = \text{cm}$	5,80	8,01	9,95	11,93
Baricentro dal lembo inferiore $x = \text{cm}$	6,20	7,99	10,05	12,07
Momento d'inertzia baricentro $j = \text{cm}^4$	114783	34104	65236	106038
Momento resistente superiore $w_s = \text{cm}^3$	2545	4263	6559	8892
Momento resistente inferiore w_i	2557	4271	6487	8780
Momento statico rispetto asse neutro $S_{nn} = \text{cm}^2$	1701	2861	4301	5897
Spessore totale setti verticali $b_0 = \text{cm}$	38,2	38,2	42	41,5
Armatura superiore $A = \text{mm}^2$	84,8	63,6	63,6	63,6
Armatura inferiore $A = \text{mm}^2$	275,6	190,8	169,6	169,6
Tensione caratteristica a rottu- ra dell'armatura metallica $S_{ptn} = \text{kg/mm}^2$	190	190	190	190
Resistenza caratteristica a compressione del conglomerato del pannello $R_{bk} = \text{km/cm}^2$	550	550	550	550
Forza di precompressione* $H = \text{kg}$	41085	29001	26584	26584
Peso proprio $Q = \text{kg/m}^2$	190	240	290	330
ELEMENTI PROVATI	2	2	2	3

(*) : tensione calcolata in base alle caratteristiche della traccia impiegata
e alle limitazioni di regolamenti (DM n°47 1 aprile 1983)

Tabella 1

7/LATO RAP H 12 NORMALE (12/01/84)

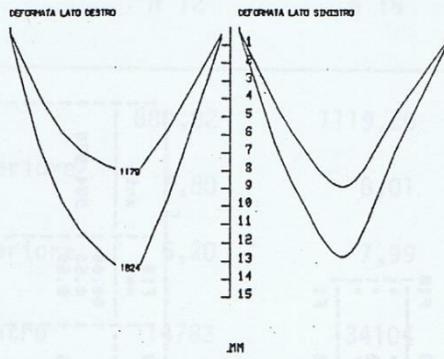


Fig. 8

7/LATO RAP H 12 NORMALE 12/01/84

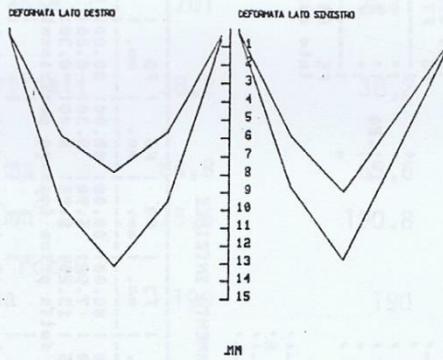


Fig. 9

DIAGRAMMA AUMENTO FRECCIA IN MEZZOGIA

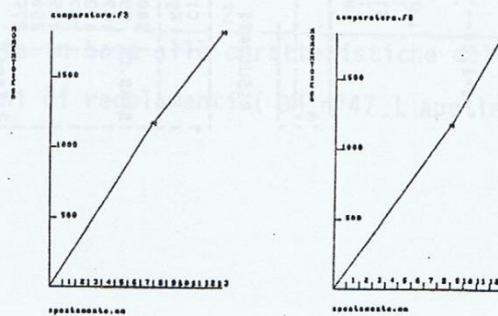
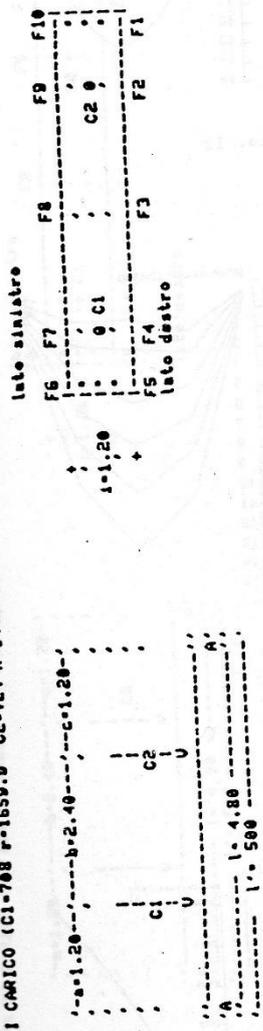


Fig. 10

PAGE 1

DATA 18/01/84
 NOME E ALTEZZA SOLAIO NAP h=16
 M precompressione Kg 29001 Momento d'inerzia baric. cassa 34104
 ARMATURA TIPO 1 9 tracce 3C3 inferiori (Af=190.8 mazz2) + 3 tracce 3C3 superiori (Af=63.6 mazz2)
 SCHEMA DI CARICO (C1=708 R=1659.0 C2=724 R=1406.7)



RISULTATI CORRETTI CON L'AZZERAMENTO INIZIALE

C1	C2	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	note
kg.	kg.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	
0000	0000	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	
145	165	0.08	1.30	1.80	1.40	0.20	0.00	0.00	1.30	1.30	0.20	p-p. strum.
365	1060	0.30	2.50	2.50	2.50	0.00	0.05	3.10	2.50	2.50	0.20	
1665	1620	0.70	4.10	5.70	4.35	0.00	0.15	4.70	4.10	4.10	0.20	2100/1960
2000	2175	0.45	5.70	7.30	6.00	0.00	0.25	6.30	7.60	5.65	0.25	2410/2600
2400	2600	0.50	7.40	10.30	7.80	1.00	0.35	8.00	10.00	7.35	0.65	
2910	3150	0.70	9.50	13.40	10.00	1.30	0.45	10.20	12.00	9.50	0.65	
2965	3250	-	formazione della prima fessura	11.00	1.70	0.95	0.45	31.30	43.00	27.00	1.00	MB) int.
3840	3850	12	presenza di 7 fessure	11.00	1.70	0.95	0.45	31.30	43.00	27.00	1.00	SCARICO
3500	3850	0.14	15.00	27.60	17.00	0.50	0.05	17.70	27.00	17.00	1.40	
3550	4900	ultima	ultima fessura carico (fine corsa martineti)	17.00	17.00	0.50	0.05	17.70	27.00	17.00	1.40	
		15	ultima fessura in zona a momento costante con passo 20/25 cm e apertura al massimo carico raggiunto	17.00	17.00	0.50	0.05	17.70	27.00	17.00	1.40	
			NOTA) formazione di fessure in zona a momento costante con passo 20/25 cm e apertura al massimo carico raggiunto	17.00	17.00	0.50	0.05	17.70	27.00	17.00	1.40	
			15	fraccia finale al massimo carico 15 cm (fine corsa martineti.)	17.00	17.00	0.50	0.05	17.70	27.00	1.40	
			15	fraccia finale al massimo carico 15 cm (fine corsa martineti.)	17.00	17.00	0.50	0.05	17.70	27.00	1.40	

Fig. 11 (12, 13, 14) Prove di flessione RAP = 16

7-LATO RAP H 16 NORMALE (12/81/84)

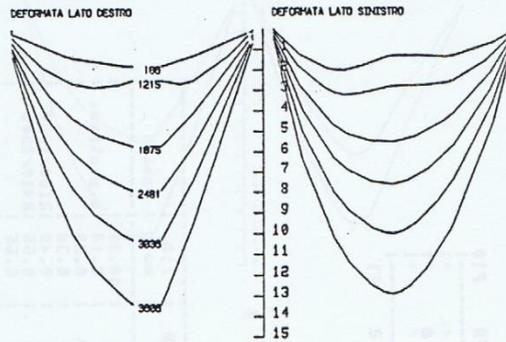


Fig. 12

2-LATO RAP H 16 NORMALE 12/81/84

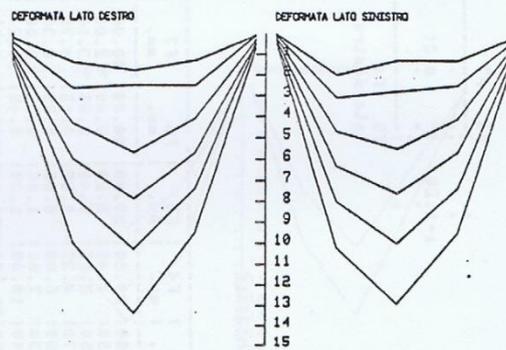


Fig. 13

DIAGRAMMA MOMENTO FRECCIA IN NEZZERIA

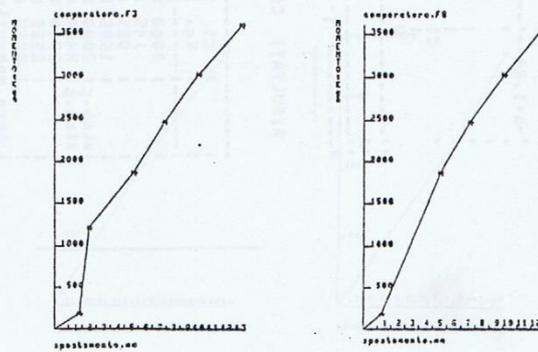


Fig. 14

DATA

17/01/84

PAGE 1

R3

NOME E ALTEZZA SOLAIO

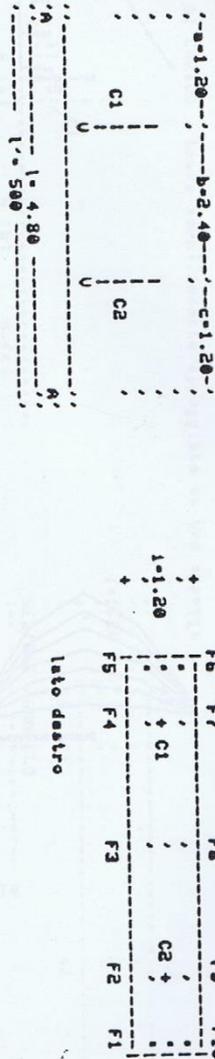
RAP h=20 gettato il 13/10/83 (SECONDA PROVA)

M precompressione

kg 26584 Momento d'inerzia baricentrico cassa 65236

ARMATURA TIPO 1 8 tracce 3C3 inferiori + 3 tracce 3C3 superiori

SCHEMA DI CARICO (C1-724 p=1438.8 C2-708 R-1659.9)



RISULTATI CORRETTI CON L' AZZERAMENTO INIZIALE

C1	C2	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	note
kg.	kg.	mm.										
0000	0000	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	
58	41	0.05	0.55	0.851	0.651	0.201	0.101	0.65	0.85	0.65	0.15	
1255	850	0.30	1.30	1.951	1.451	0.301	0.251	1.45	1.85	1.45	0.25	
1800	1215	0.30	2.00	2.801	2.101	0.401	0.301	2.05	2.75	2.10	0.40	
2515	1695	0.30	2.90	3.951	2.951	0.551	0.451	2.90	3.75	2.95	0.50	
3240	2055	0.35	3.60	4.851	3.601	0.601	0.451	3.55	4.85	3.60	0.65	
3855	2705	0.40	4.30	5.801	4.301	0.701	0.501	4.15	5.75	4.30	0.70	
4500	3300	0.50	5.00	6.751	5.001	0.751	0.501	4.95	6.75	4.95	0.75	
4500	1775											Formazione prima fessura posizionata a 130 cm dalla testata di sinistra (C1) (rotture)
4500	3300											Stabilizzazione seconda fessura posizionata a 155 cm dalla testata di destra (C2)
4850	2490											Formazione seconda fessura
5900	3540											Formazione della terza fessura posizionata a cm 220 dalla testata destra.
5250	3650											rottura per allungamento delle tracce dalla testata
												Il calcestruzzo dei pannelli presenta lungo lo spessore fessure con forme ramificate a V
												Al assai carichi applicati il numero totale di fessure risultò essere 12 e la loro
												ampiezza varia dai 6 ai 10 mm.

Fig. 15 (16, 17, 18) Prove di Flessione RAP = 20

2LAIO RAP H 28 NORMALE (17/01/04)

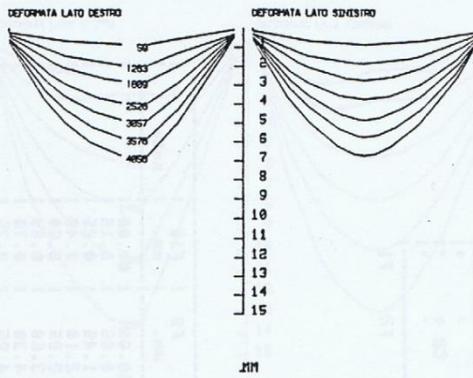


Fig. 16

VALATO RAP H 28 NORMALE 17/01/04

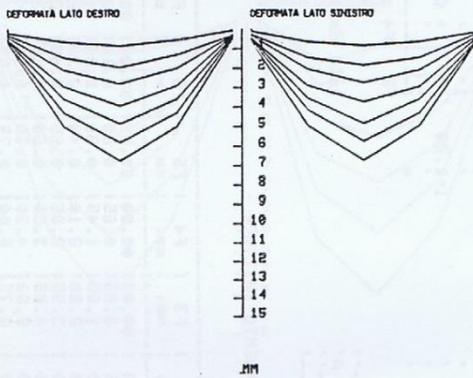


Fig. 17

DIAGRAMMA MOMENTO FLECCIA IN REZZERIA

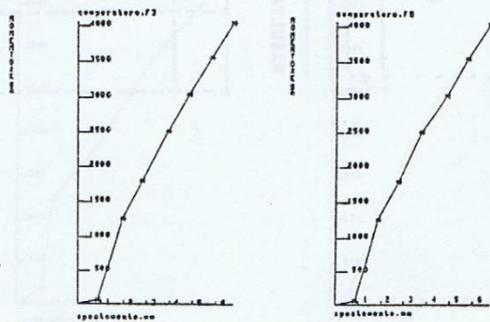


Fig. 13

DATA

18/01/1984

PAGE 1

PROVE DI TAGLIO

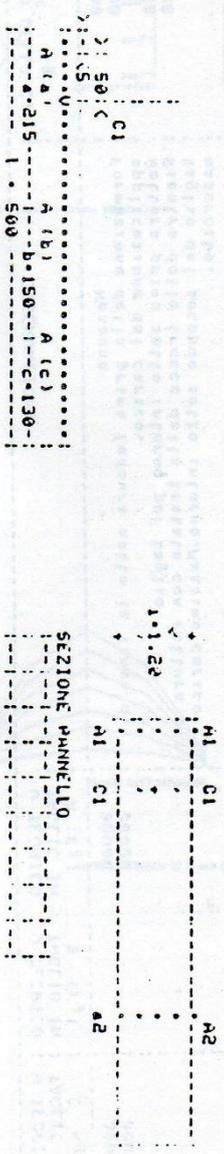
NOE E ALTEZZA SOLAIO RAP N 20 gettato il 13/10/83

N di precompressione a rilassamento esaurito kg.

ARMATURA TIPO 2 tracce EC3 inferiori 3 tracce EC3 superiori

1 C1.724 f.1406.7)

SCHEMA DI CARICO trave semplicemente appoggiata su tre appoggi



RISULTATI CORRETTI

CARICO CELLA C1 kg	OSSERVAZIONI	TEORICO TAGLIO IN A (kg)	TEORICO TAGLIO IN B (kg)	TEORICO TAGLIO IN C (kg)
5000	Nessuna	00000		00000
7500	Nessuna	00000		00000
10000	Nessuna	00000		00000
10550	Formazione della prima Tessura sotto l'appoggio A con stabilizzazione del carico a 8450 Kg Propagazione della fessura e rottura primo sotto interno per taglio. Massimo carico applicato in corrispondenza del quale si e' avuto un rientro della trave di 12 mm.	00000		00000
11500				
PROVA DI TAGLI SULLA SECONDA TESTATA.				
5000	Nessuna			
7500	Nessuna			
12500	Formazione della prima fessura sotto la zona di applicazione del carico con stabilizzazione del carico a 9580 Kg Rottura per taglio di tre setti interni Rientro delle trave della testata di 11 mm			
10650				
11900				

Fig. 20 Prove di taglio RAP = 20

Solaio tipo	Carico P kg	Valore del taglio kg	Note
Rap 12	4000	3800	rottura
Rap 12	5000	4120	carico sopportato
	7500	6350	rottura
Rap 16	6000	5600	carico sopportato
	7500	6800	rottura
Rap 16 con 2 setti rot ti	6100	4430	carico sopportato
	10000	7410	rottura
Rap 16 con 4 setti rot ti	5000	3620	carico sopportato
	5900	4310	rottura
Rap 16 con 4 setti rot ti	5000	4050	carico sopportato
	7000	5600	rottura
Rap 20	10000	7430	carico sopportato
	10550	7850	rottura
Rap 20	10000	8380	carico sopportato
	15000	12750	rottura
Rap 24	15000	12700	carico sopportato
	15600	13230	rottura
Rap 24	17500	13180	carico sopportato
	19500	14720	rottura

Fig. 21

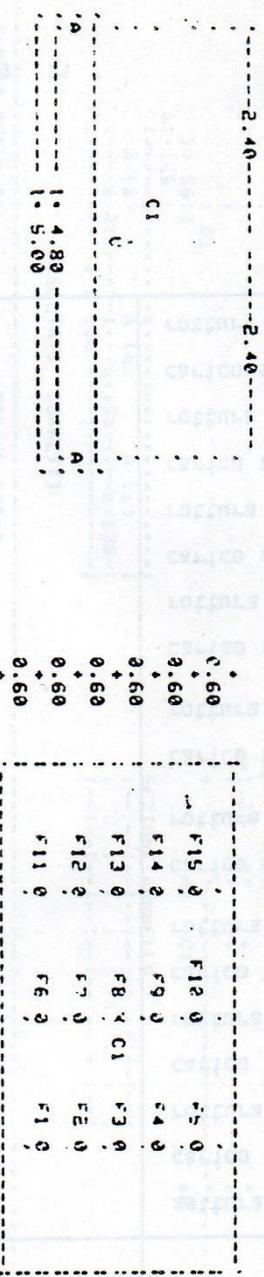
DATA
 26/06/84

PROVA NUMERO 5 Rapp16: 3 pannelli da 1.20 +. uniti (3.60 x 5.00 m.)

ARMATURA TIPO 9 treccia 3 e 3 inferiori e 3 treccie 3 e 3 superiori per pannello
 TIPO ACCIAIO acciaio armonico a tensione caratteristica a rottura: $f_{yk} = 150 \text{ Kg/cm}^2$

ARMATURA ACCIUNTA armatura trasversale di collegamento 6 spazzoni e 12 FEB 44

SCHIMA DI CARICO trave appoggiata su due appoggi: carico concentrato in FB (C1-708 r-1659.9)



RISULTATI CORRETTI CON L' AZZERAMENTO INIZIALE

C1 Kg.	F1 mm.	F2 mm.	F3 mm.	F4 mm.	F5 mm.	F6 mm.	F7 mm.	F8 mm.	F9 mm.	F10 mm.	F11 mm.	F12 mm.	F13 mm.	F14 mm.	F15 mm.
0000	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	20.00	00.00	00.00	00.00	00.00
3000	01.59	01.93	01.90	01.92	01.69	02.37	02.78	03.00	02.66	02.30	01.64	01.92	01.98	01.88	01.71
4000	02.69	03.41	03.37	03.38	03.00	04.29	04.32	05.03	04.75	04.24	02.79	03.20	03.23	03.18	03.16
7000	04.17	05.14	05.16	05.16	04.35	07.79	08.98	10.62	08.76	07.70	04.84	05.67	06.78	05.68	04.31
9000	2 crepe parallele intradosso pannello centrale sotto il carico														
10000	ulteriori crepe a stella all'intradosso con centro sotto il carico + 2 crepe all'intradosso dei pannelli laterali														
11000	fessurazione diffusa radiale rispetto al punto di applicazione del carico														
	rottura longitudinale a partire da FB + sfondamento in FB tenuta dei giunti gettati in opera														

Fig. 22 Prove di funzionamento dei giunti gettati con cls a bassa resistenza con ferro

DATA 26/05/74

FRECCIA NUMERO 4

MODELLO E ALTEZZA SOLAIO

Rappres. 3 pannelli da 1.20 m. uniti (3.60 x 3.00 m.)

ANDATURA TIPO 9 tralicci 3 e 3 inferiori e 3 tralicci 3 e 3 superiori per pannello

TIPO ACCIAIO: acciaio armonico a tensione caratteristica a rottura f_{yk} = 195 Kg/cm²

ARMATURA AGGIUNTA: armatura trasversale di collegamento 6 Anziconi n. 12 Feb 44

SCHEMA DI CARICO trave appoggiata su due appoggi: carico concentrato in F8 (Cl=35 r=1655,9)

lato destro

-----2.40-----

0.60	F13 0	F13 0	F5 0
0.60	F14 0	F3 0	F4 0
0.60	F12 0	F8 X C1	F3 0
0.60	F12 0	F7 0	F2 0
0.60	F11 0	F2 0	F1 0

-----1.20-----1.20-----1.20

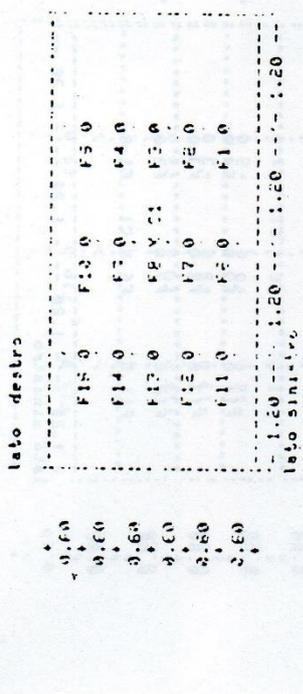
lato sinistro

RESULTATI CARICATI CON L'AZZERAMENTO INIZIALE

Cl	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15
kg.	mm.														
0000	00.00	00.00	02.00	20.00	00.00	00.02	00.22	20.80	00.00	00.00	02.00	00.00	00.00	20.00	00.00
2000	00.50	01.20	21.15	21.15	01.02	21.47	01.57	22.71	01.58	01.45	01.02	01.52	01.20	01.20	00.50
3000	01.57	01.90	01.84	01.55	01.54	22.30	02.71	03.73	02.52	02.30	01.62	01.52	01.90	01.81	01.55
4000	02.20	02.76	02.67	02.69	02.37	23.27	03.85	04.91	03.67	03.34	02.24	02.50	02.60	02.55	02.30
5000	00.65	00.10	00.15	00.12	00.07	00.05	00.16	00.14	00.13	00.15	00.08	00.10	00.07	00.12	00.00

Fig. 23 Prove di funzionamento dei giunti gettati con cis a bassa resistenza con ferro

DATA 26/05/74
 FRECCIA NUMERO 4
 MODELLO E ALTEZZA SOLAIO Rappelli 3 pannelli da 1.20 m. uniti (3.60 x 5.00 m.)
 ANNOTAZIONE 9 trave 3 e 3 inferiori e 3 trave 3 e 3 superiori per pannello
 TIPO ACCIAIO: acciaio armonico a tensione caratteristica a rottura f_{yk} = 195 Kg/cm²
 ARMATURA AGGIUNTA armatura trasversale di collegamento 6 Anezzoni e 12 F8 44
 SCHEMA DI CARICO trave appoggiata su due appoggi: carico concentrato in F8 (Cl=35 r=1655,9)



RESULTATI CARICATI CON L'AZZERAMENTO INIZIALE

Cl	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15
kg.	mm.														
0000	00.00	00.00	02.00	20.00	00.00	00.00	00.00	20.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	20.00	00.00
2000	00.50	01.20	21.15	21.15	01.02	00.02	00.22	20.80	00.00	00.00	02.00	00.00	00.00	20.00	00.00
3000	01.57	01.90	01.84	01.55	01.54	01.47	01.57	22.71	01.58	01.45	01.02	01.52	01.20	01.20	00.50
4000	02.20	02.76	02.67	02.69	02.37	02.30	02.71	03.73	02.52	02.30	01.62	01.52	01.90	01.81	01.55
0000	00.05	00.10	00.15	00.12	00.07	00.05	00.16	00.14	00.13	00.15	00.08	00.10	00.07	00.12	00.00

Fig. 23 Prove di funzionamento dei giunti gettati con cls a bassa resistenza con ferro

DATA

:207/84

PROVA NUMERO 2

NOTE E ALTEZZA SOLAIO

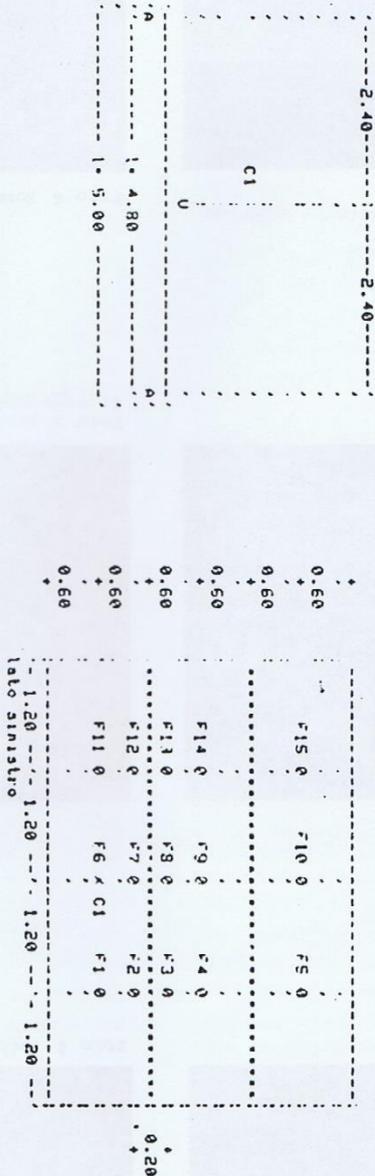
pannelli 3 pannelli da 1.20 m. uniti (3.00 x 5.02 m.)

ARMATURA TIPO 5 tracce 3 e 3 inferiori e 3 tracce 3 e 3 superiori per pannello

TIPO ACCIAIO acciaio armonico a tensione caratteristica a rottura $\sigma_{rk} = 150 \text{ kg/cm}^2$

ARMATURA ACCIUNTA / / / /

SCHEMA DI CARICO trave su due appoggi carico applicato in F6 concentrato (C1=708 P=1659.9)



RISULTATI CORRETTI CON L'AZZERAMENTO INIZIALE

C1	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15
Kg	mm														
0000	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00
1000	00.67	01.56	00.55	00.48	00.32	00.80	00.72	01.63	00.51	00.28	00.62	00.56	00.52	00.39	00.23
2000	01.71	00.45	01.37	01.20	02.28	02.28	02.00	02.74	01.48	00.89	01.56	01.41	01.34	00.47	00.51
3000	02.85	02.45	02.27	02.95	01.20	03.86	03.42	03.06	02.52	01.47	02.55	02.27	02.14	02.62	01.90
0000	00.25	00.20	00.17	00.20	00.15	00.04	00.06	00.02	00.03	00.04	00.15	00.14	00.19	00.09	00.08

Fig. 25 Prove di funzionamento dei giunti gettati con cls a bassa resistenza senza ferro

DATA 10/07/84

PROVA NUMERO 1

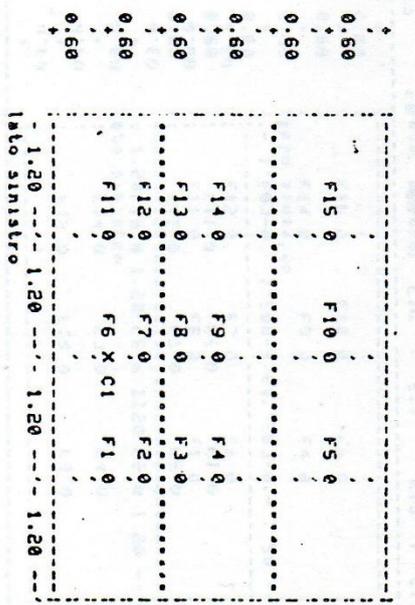
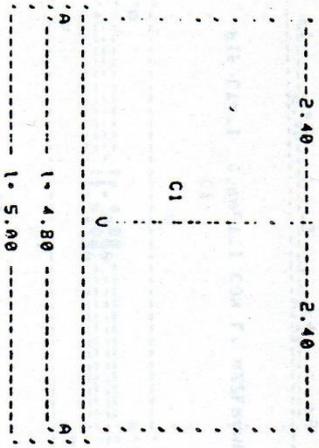
NOME E ALTEZZA SOLAIO Kaphigi: 3 pannelli da 1.20 m. uniti (3.60 x 5.00 m.)

ARMATURA TIPO: 3 traveccine 3 e 3 inferiori e 3 traveccine 3 e 3 superiori per pannello

TIPO ACCIAIO: acciaio armonico a tensione caratteristica 4 rottura: $f_{yk} = 190 \text{ Kg/cm}^2$

ARMATURA AGGIUNTA / / / /

SCHEMA DI CARICO: trave su due appoggi: carico applicato in FG su area $0.10 \times 0.80 \text{ m.}$ (cl. 708 r. 1659.9)



RISULTATI CORRETTI CON L'AZZERAMENTO INIZIALE

Cl	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15
Kg	mm	mm	mm	mm	mm	mm									
0000	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00
1000	00.50	01.55	00.45	00.40	00.27	00.80	00.71	01.59	00.52	00.05	00.55	00.49	00.44	00.34	00.18
2000	01.35	01.20	01.05	00.80	00.57	01.93	01.74	02.46	01.26	00.73	01.29	01.14	01.06	00.81	00.48
3000	02.10	01.85	01.62	01.40	00.87	02.94	02.63	03.28	01.67	01.11	01.90	01.70	01.56	01.27	00.71
0000	00.15	00.20	01.08	00.10	00.05	00.18	00.22	00.12	00.09	-00.02	00.15	00.13	00.08	00.09	00.04

Fig. 24 Prove di funzionamento di giunti gettati con cls a bassa resistenza, senza ferro

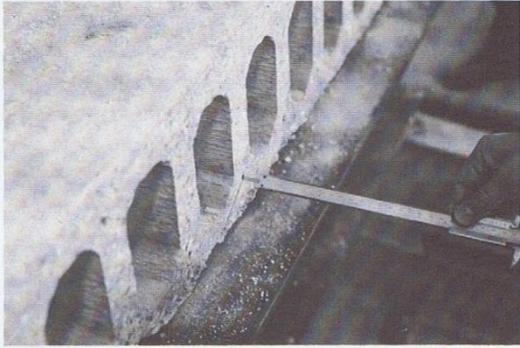


Foto 7 Scorrimento delle treccie



Foto 10 Solai assemblati. Si noti il getto delle tasche di collegamento

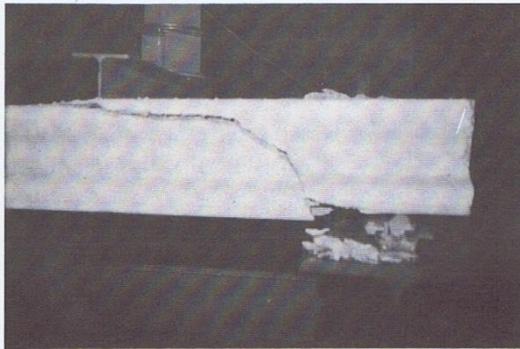


Foto 8 Collasso a taglio

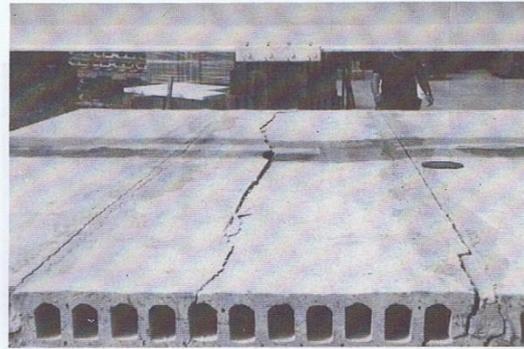


Foto 11 Rottura secondo campione

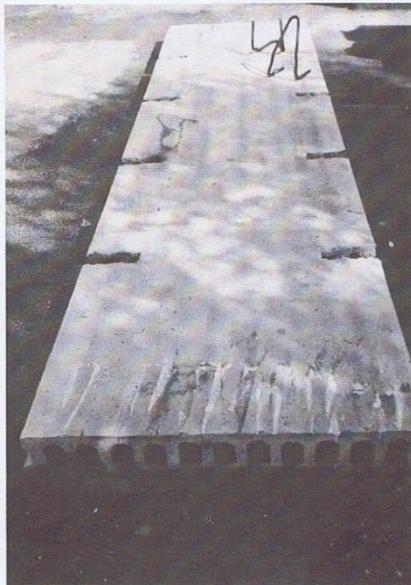
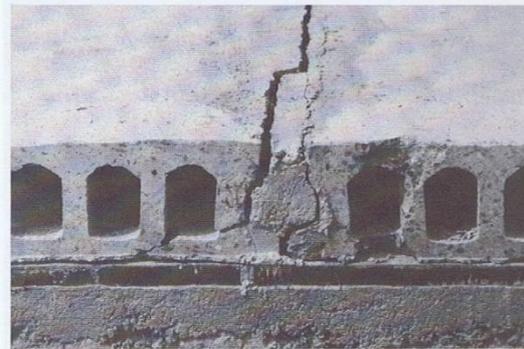


Foto 9 Elemento con tasche di collegamento

Foto 12 Dettaglio rottura in testata (con prova di carbonatazione)



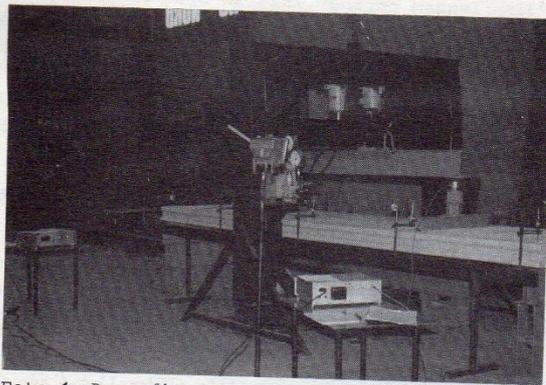


Foto 1 Banco di prova

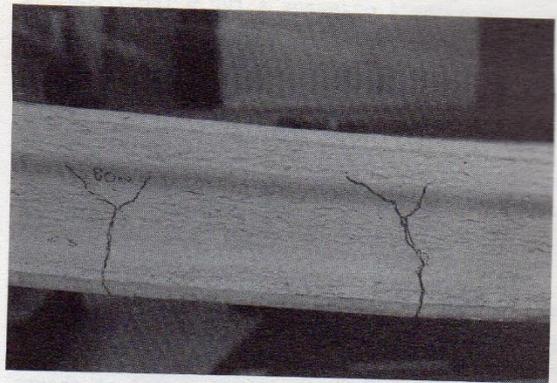


Foto 4 Sviluppo e dettaglio fessure

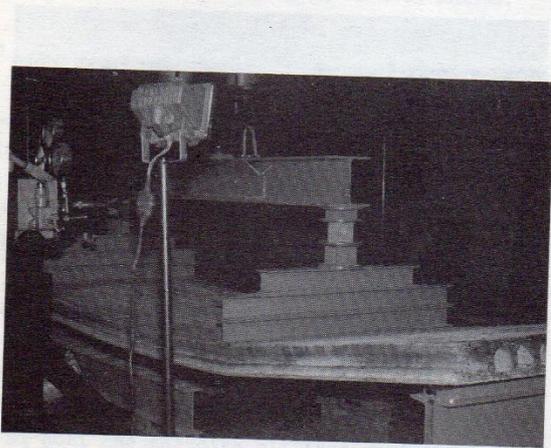


Foto 2 Deformazione sotto carico

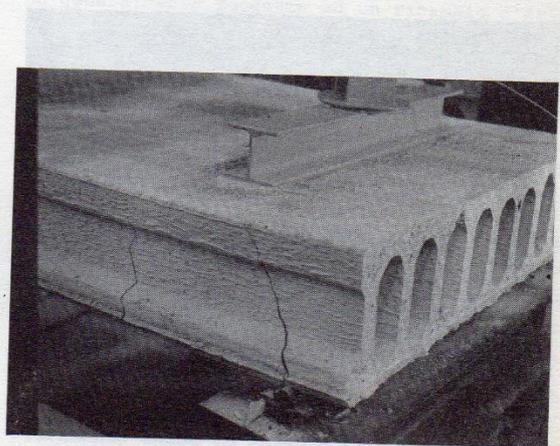


Foto 5 Rottura sottocarico. Si noti la presenza delle crepe secondarie per flessione

Foto 3 Elemento con "difetto esecutivo" - Scorrimento tracce

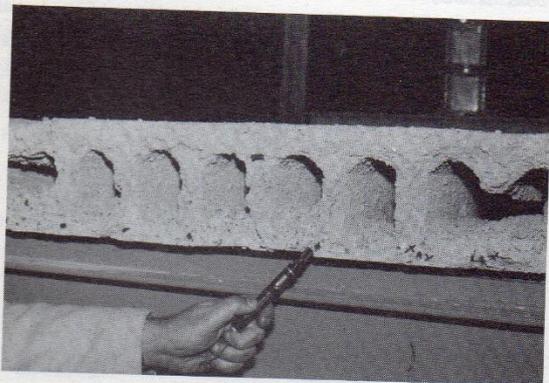


Foto 6 Rottura dei setti interni a taglio

