

# CRONACHE TECNICHE DI INGEGNERIA DALLA TOSCANA

Inizia con questo numero la rubrica di “cronaca” che avevamo annunciato nel n. 1/2-2009 della nostra rivista. Si tratta di progetti realizzati o in fase di realizzazione, concorsi, opere realizzate di tecnici o imprese della Toscana. Nelle intenzioni del Comitato di Redazione questa nuova rubrica dovrebbe servire per avvicinare il “bollettino” all’ingegneria di tutti i giorni della Toscana e per far apprezzare a tutti i lettori l’“oggi” della tecnica. Ancora un invito caloroso a tutti i tecnici, gli ingegneri, le imprese che vogliono testimoniare il loro impegno, i loro successi e le loro realizzazioni ad inviare al “bollettino” articoli e testimonianze.

## Adeguamento sismico di un edificio a due piani a Firenze: taglio di due pilastri centrali con messa in forza di rinforzo in acciaio

Progettista delle strutture: **Prof. Ing. Paolo SPINELLI**

Collaborazione progetto strutturale: **Dott. Ing. Alessio MARGIOTTA**

Direzione lavori: **Dott. Ing. Massimiliano CECCONI**

### 1. INTRODUZIONE

All’interno dei locali di un edificio esistente, situato a Firenze e costituito da due piani fuori terra, vi è stata l’esigenza di realizzare uno spazio atto ad ospitare conferenze, congressi e summit dei vertici dirigenziali dell’azienda: si doveva quindi realizzare un nuovo Auditorium a piano terra e i relativi locali dovevano essere riorganizzati in modo tale da rispondere alle nuove esigenze funzionali.

Il maggior ostacolo da superare era rappresentato dalla presenza di due pilastri dell’edificio che risultavano incompatibili con le esigenze di visibilità e fruibilità della sala. D’altro canto la loro rimozione non era facile in quanto senza di essi si sarebbe avuta una luce libera di quasi 15 metri e per l’appunto essi appartenevano ad una campata che, oltre a portare il solaio di piano primo di luce 9.90 metri, si faceva carico anche delle travi di copertura aventi luce 20 m;

Si è deciso di seguire la strada dell’eliminazione dei due pilastri e del conseguente rinforzo della campata con un’opportuna struttura in acciaio affiancata a quella in C.A. esistente.

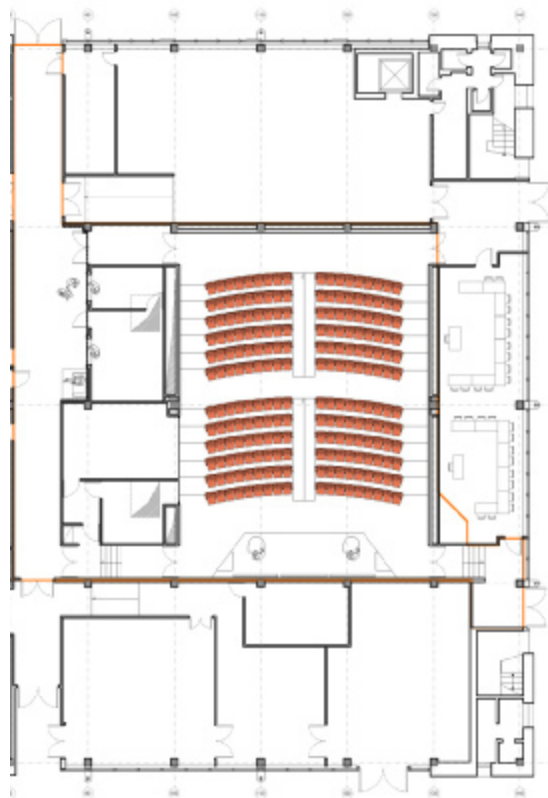


Figura. 1 - Pianta progetto architettonico

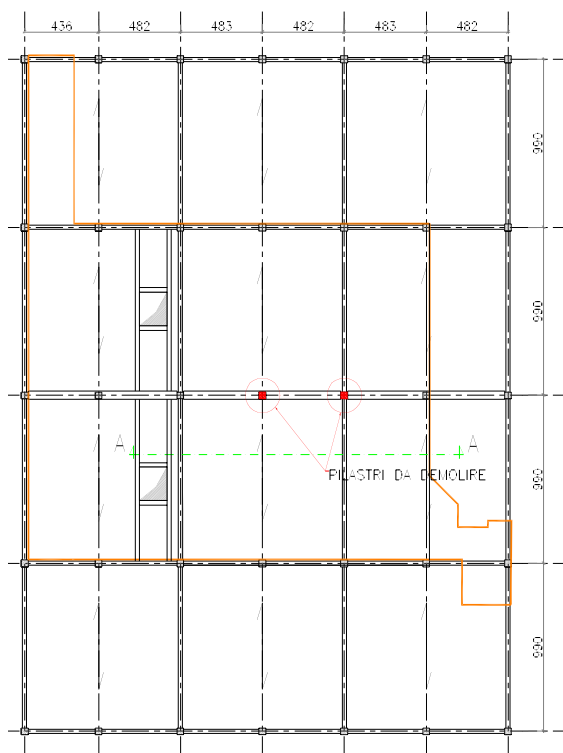


Figura. 2 - Stato attuale: piano primo

## 2. ANALISI DEL COMPLESSO ESISTENTE

L'edificio attuale appartiene ad un complesso industriale avente superficie totale di circa 2840 mq realizzato nel 1989 e suddiviso in tre blocchi separati tra loro da giunti tecnici.

L'intervento in questione ha interessato soltanto uno di tali blocchi sul quale è stato pertanto eseguito un adeguamento sismico, secondo la definizione del D.M. LL. PP. del 16.01.1996.

Sono stati reperiti i disegni strutturali dell'epoca grazie ai quali è stato possibile, unitamente ad alcuni rilievi in situ, definire in modo accurato la struttura esistente senza l'utilizzo di prove distruttive.

Il blocco in questione ha dimensioni in pianta 28.5 x 39.6 m; la struttura portante è in cemento armato normale e precompresso: in particolare l'ossatura principale è costituita da pilastri in c.a. di dimensione 40x40cm posti ad interasse di 5m in direzione trasversale e 10m in direzione longitudinale; i solai di piano primo sono costituiti da lastre forate in c.a.p. di altezza finita 30 cm, hanno luce di 9.90m e sono orditi in senso longitudinale su travi orizzontali tipo "REP"; la copertura è composta da una lamiera grecata coibentata poggiante su travi in c.a.p. tipo "Y" di luce 20m, sostenute a loro volta da travi orizzontali in c.a.; le fondazioni sono plinti isolati collegati tra loro da cordoli in c.a.

Il primo interpiano ha altezza netta di 3.90 m mentre il secondo di circa 3.00 m.

## 3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'idea di base per la realizzazione dell'intervento è stata quella di rinforzare gli elementi strutturali esistenti della campata interessata tramite un'intelaiatura in acciaio con profili adeguati, tali da formare una sorta di trave Vierendeel, intervenendo quindi non solo sotto il solaio di piano primo ma anche su travi e pilastri fino in copertura. (v. Figura 3)

Il rinforzo che sosterrà i solai del primo piano, ossia il traverso inferiore della Vierendeel, è costituito da due profili in acciaio HEA700 ai quali è stata preventivamente data una controfreccia di 2 cm per assorbire la deformazione che tali profilati avrebbero subito per effetto dei carichi permanenti dopo il taglio dei due pilastri. I due traversi sono inoltre collegati fra loro tramite tronconi di HEA400 ogni 1,50 m circa per prevenire l'instabilità flessio-torsionale degli stessi.

Tutti i montanti verticali della Vierendeel sono doppi HEA500, collegati tra loro mediante piatti di acciaio saldati e ben fissati ai pilastri in c.a. esistenti per mezzo di barre passanti (2f20/60 cm).

Il traverso superiore della Vierendeel è stato realizzato con due profili IPE400 anch'essi collegati con barre di acciaio alla trave in c.a. che sostiene le travi di copertura.

I due plinti adiacenti ai pilastri da demolire sono stati adeguatamente rinforzati con l'inserimento di otto micropali ciascuno, collegati in testa da un cordolo in c.a. ancorato saldamente al plinto esistente mediante l'impiego di resine epossidiche. La funzione dei pali sarà quella di assorbire l'intero incremento di carico in fase di cantiere e l'incremento totale a opera finita dovuto anche ai carichi accidentali.

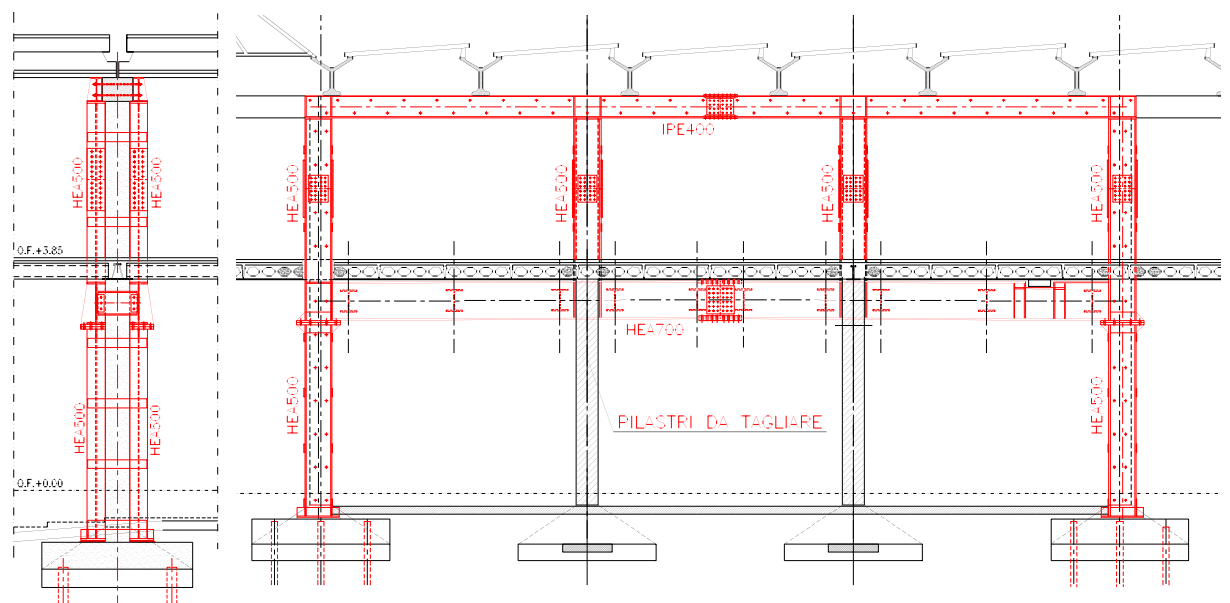


Figura. 3 - Trave Vierendeel di rinforzo; a sinistra: sezione trasversale della struttura

#### 4. MODELLAZIONE AGLI ELEMENTI FINITI

Trattandosi di adeguamento sismico si è provveduto alla modellazione dell'intero blocco nel suo stato variato: è stato utilizzato un modello tridimensionale agli elementi finiti al fine di valutare il comportamento globale della struttura e risolvere il problema della ripartizione dei carichi orizzontali e della determinazione delle sollecitazioni per carichi verticali e orizzontali sulla struttura.

Fra le combinazioni di carico previste è stata inserita anche una combinazione che tenga conto degli effetti del sisma verticale.



Figura. 4 - Modello tridimensionale dell'edificio

#### 5. ATTUAZIONE DELL' INTERVENTO

Al fine di rendere ottimale il comportamento della trave Vierendeel e per difficoltà esecutive di cantiere, si rendeva necessario realizzare quanto più possibile in officina le connessioni fra montanti e traversi, compatibilmente con gli spazi ridotti e le conseguenti difficoltà che potevano nascere nel posizionare la struttura di acciaio.

Lo schema adottato per il montaggio della struttura di rinforzo è mostrato in figura 5.

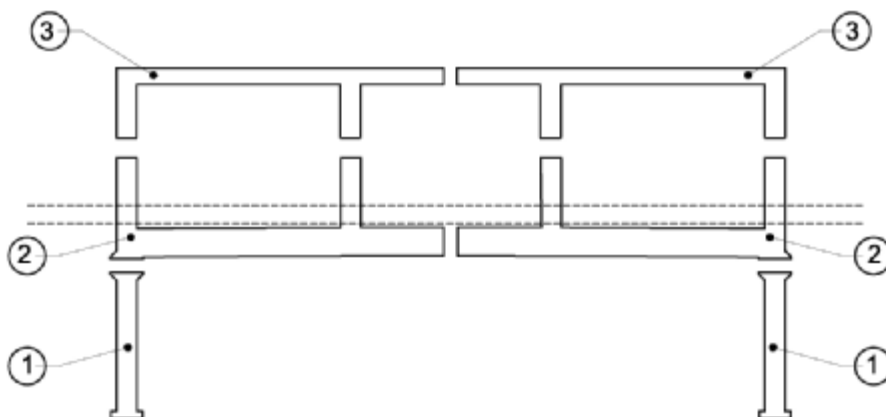


Figura. 5 - Schema di montaggio

Dopo l'esecuzione dei micropali di rinforzo per i due plinti, sono stati messi in opera i pilastri metallici a piano terra (1) e posizionati i traversi inferiori della Vierendeel (2); per far passare i tratti di montanti verticali dal basso, necessari per il rinforzo dei pilastri di piano primo, sono stati eseguiti dei fori nel solaio, preventivamente puntellato. Successivamente, tramite una porta laterale situata al primo piano, è stato possibile posizionare i profili metallici di rinforzo dei pilastri e della trave in c.a. al piano primo (3), completando la struttura.



Figura. 6 - Giunzione pilastro-traverso inferiore



Figura. 7 - Giunzione traverso superiore



Figura. 8 - Tratti di montanti verticali a piano primo durante la messa in opera

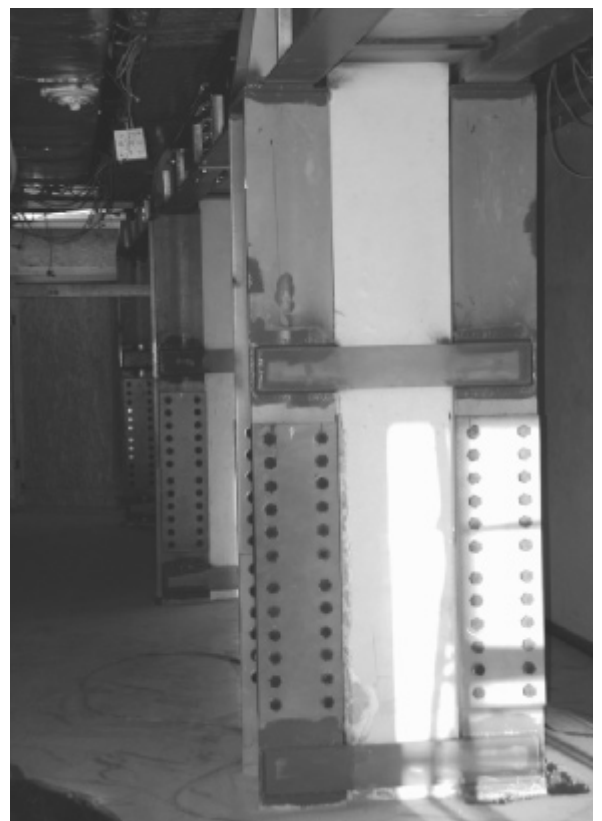


Figura. 9 - Montanti verticali a piano primo dopo la messa in opera

## 6. MESSA IN FORZA E TAGLIO PILASTRI

Il momento più delicato dell'intero intervento è stato ovviamente quello del taglio dei due pilastri; prima di procedere alla loro rimozione è stato però necessario prendere alcuni accorgimenti che possiamo riassumere in due fasi.

## FASE 1 – SPESSORAMENTO

In primo luogo si doveva spessorare il traverso inferiore della Vierendeel col sovrastante solaio per mettere in forza la struttura e a tal scopo sono stati utilizzati quattro pistoni oleodinamici posizionati fra la nuova struttura ed il solaio, ossia in corrispondenza delle HEA 400 di collegamento. Agli appoggi, ai quarti e in mezzeria delle travi metalliche sono stati posizionati dodici flessimetri centesimali per il controllo degli spostamenti, come mostrato in figura 10.

Il carico utilizzato è stato di 25 t per ciascun pistone, per un totale di circa 50 t in prossimità di ciascun pilastro.

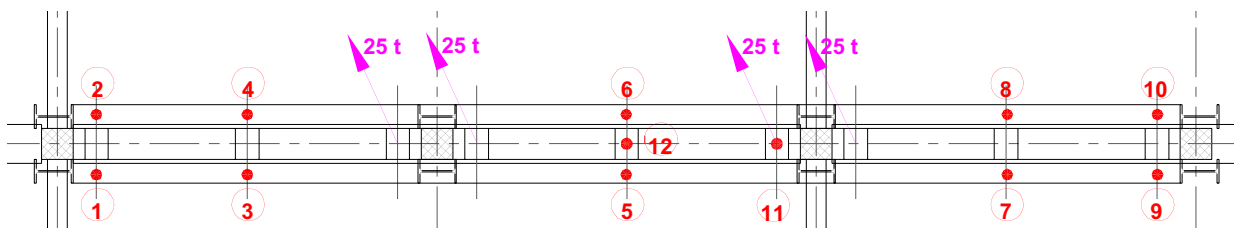


Figura. 10 - Disposizione dei punti di spinta (frecce) e dei flessimetri (numerazione da 1 a 12) per la messa in forza.



Figura. 11 - Disposizione dei pistoni

TABELLA DEGLI SPOSTAMENTI													
Ora	Carico	Flessimetri [X 10 <sup>2</sup> mm]											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
9.30	∅	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.00	10t	3	1	12	9	15	13	6	5	0	0	13	-3
10.30	20t	5	1	40	26	41	26	15	17	1	1	32	-4
11.00	20t	6	2	42	26	42	26	16	17	2	2	33	-6
11.30	10t	3	2	15	15	15	12	6	4	1	1	30	-3
11.45	∅	1	1	3	9	4	7	1	1	0	0	12	-2
12.00	∅	1	1	3	7	3	5	0	0	0	0	2	-2

Figura. 12 - Tabella degli spostamenti fase 1

## FASE 2 – TAGLIO CON SCARICO GRADUALE

Dopo la messa in forza si è reso necessario utilizzare nuovamente i pistoni oleodinamici, stavolta posizionati in testa a quattro longarine verticali di acciaio ancorate a terra tramite piastre di adeguato spessore aventi funzione di ripartizione. Tali longarine, disposte come in fig.13, avevano una duplice funzione: permettere il sollevamento della struttura prima del taglio, in modo da scaricare il più possibile i due pilastri di c.a. da tagliare per evitare che la lama si incastrasse durante il taglio stesso, e, successivamente, scaricare la struttura in modo graduale.

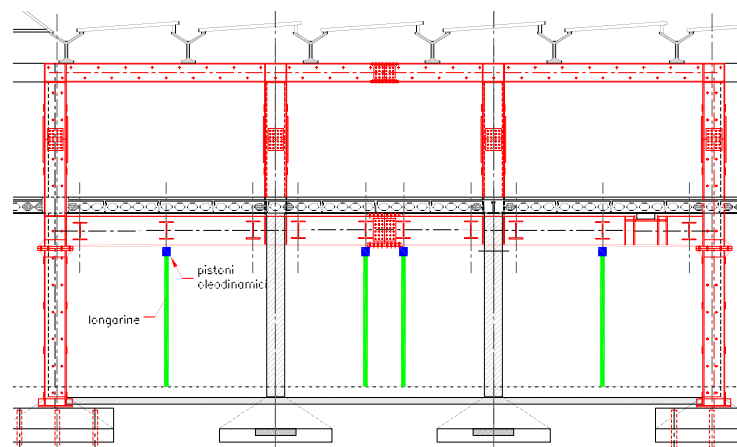


Figura. 13 - Disposizione longarine e pistoni oleodinamici



Figura. 14 - Particolare pistoni

Dopo aver dato ai pistoni il carico appropriato, è stata posizionata una sega circolare diamantata controllata con pistoni idraulici (figg.15-16), fissandola al pilastro in c.a. con dei tasselli ad espansione.



Figura. 15 - Sega circolare diamantata usata

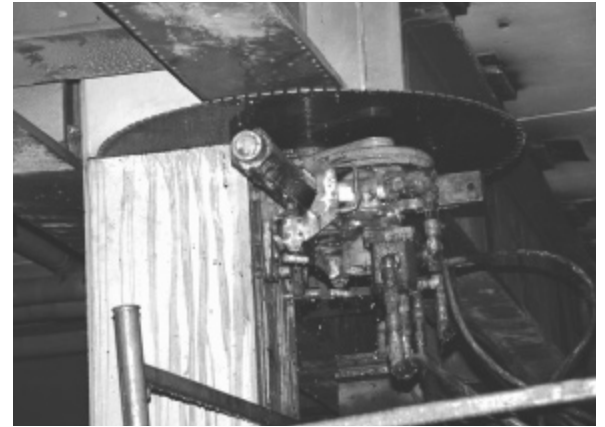


Figura. 16 - Taglio quasi eseguito su un pilastro

Dopo aver tagliato i due pilastri è stato eseguito lo scarico graduale, controllando le deformazioni mediante misurazioni con tre flessimetri centesimali posizionati ai quarti e in mezzeria delle travi metalliche ed eventuali cedimenti dei plinti adiacenti con due mire ottiche (fig.17). La tabella di fig.18 riassume le misurazioni effettuate mentre il grafico mostrato in fig.19 mostra l'andamento carico-spostamento durante la fase 2.

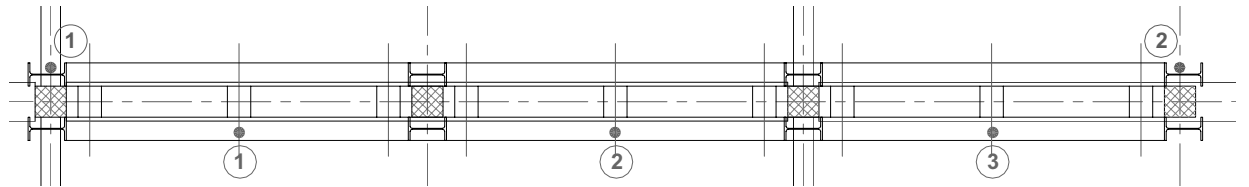


Figura. 17 - Disposizione dei tre flessimetri (numerazione verde) e delle due mire ottiche (numerazione rossa) durante la fase 2

TABELLA DEGLI SPOSTAMENTI						
Ora	Carico	Mire [X10 <sup>-3</sup> mm]		Flessimetri [X10 <sup>-3</sup> mm]		
		1	2	1	2	3
18.00	∅	0	0	0	0	0
18.20	10 t	0	0	-32	-57	-34
18.40	20 t	0	0	-72	-92	-77
19.00	25 t	0	0	-92	-124	-95
19.20	30 t	0	0	-119	-162	-121
19.40	40 t	0	0	-152	-232	-159
20.00	Taglio pil.1	0	0	-140	-200	-142
20.45	Taglio pil.2	0	0	-109	-155	-116
21.00	35 t	0	0	23	-126	17
21.10	25 t	0	0	102	294	57
21.20	15 t	0	0	205	515	156
21.30	10 t	0	0	313	745	256
21.40	∅	0	0	440	1026	385
22.00	∅	0	0	465	1058	400

Figura. 18 - Tabella degli spostamenti in fase 2

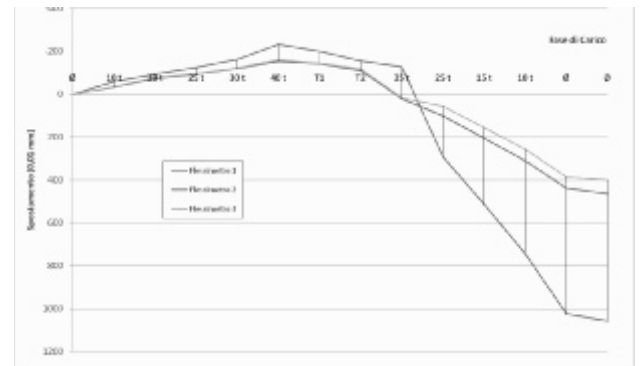


Figura. 19 - Andamento carico - spostamento in fase 2

Paolo SPINELLI, nato a Firenze nel 1950 si è laureato in Ingegneria presso l'Università di Firenze dove attualmente è Professore Ordinario in Tecnica delle Costruzioni; è presidente dell'Ordine degli Ingegneri della provincia di Prato; è Direttore del bollettino ingegneri e si occupa di strutture in c.a., in acciaio e degli effetti del vento nelle costruzioni.

Alessio MARGIOTTA, nato a Firenze nel 1976, si è laureato in Ingegneria Civile nel 2004 presso l'Università di Firenze. Attualmente svolge l'attività di libero professionista e collabora con la società GPA Ingegneria occupandosi di strutture di acciaio e in c.a.

Massimiliano CECCONI, nato a Firenze nel 1970, si è laureato in Ingegneria Civile nel 1999 presso l'Università di Firenze. Attualmente svolge l'attività di libero professionista e collabora con la società GPA Ingegneria occupandosi di direzione lavori, sicurezza e coordinamento generale.

Dopo l'intervento non si è avuto alcun sintomo di cedimenti o fessurazioni nel piano superiore nel quale le strutture metalliche di rinforzo sono state tamponate con pannelli di cartongesso.

Figura. 20 - Piano primo: situazione dopo l'intervento



Figura. 21 - Piano terra: situazione dopo l'intervento

