

Ing. Corrado Prandi - Studio Prandi

Software Utilizzato: **Midas Gen**
cspfea.net/midas-gen



Intervento di miglioramento sismico in un fabbricato produttivo

Il fabbricato produttivo, modellato e analizzato con il software MIDAS GEN si trova nell'area del "cratere" interessato dal sisma emiliano del maggio 2012; l'immobile è stato realizzato in più fasi temporali, mantenendo autonomia strutturale tra le varie parti; si espone a seguire l'intervento di miglioramento sismico sulla parte di più recente realizzazione.

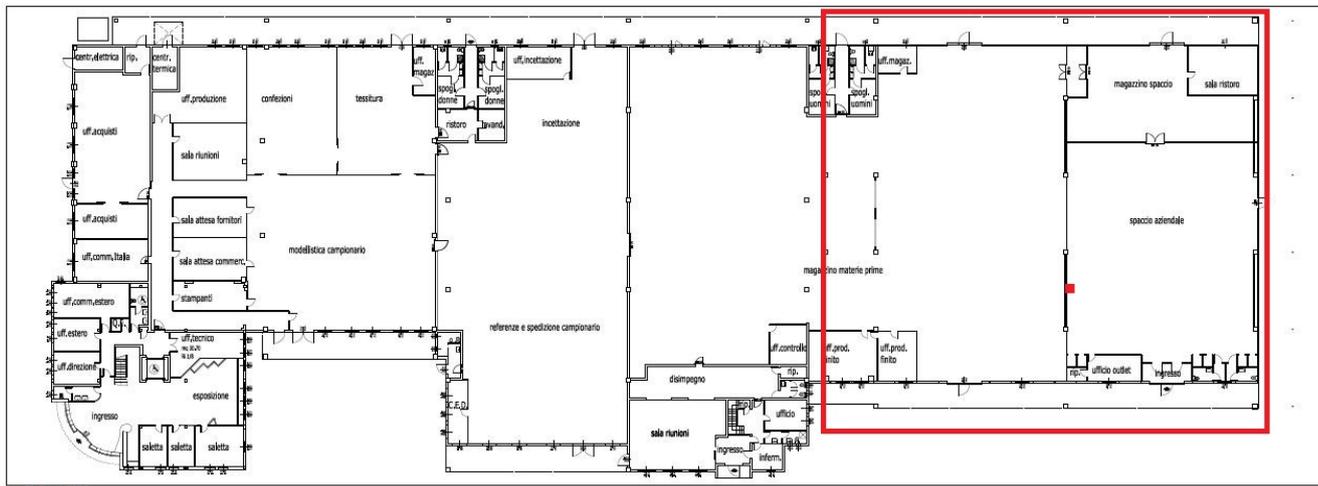


Figura 1 ▲

La Proprietà richiedeva di procedere con la massima tempestività agli interventi necessari per tutelare le maestranze, definendo le modalità e un calendario dei lavori compatibili con il mantenimento dell'attività produttiva presente nell'immobile. La richiesta della Proprietà escludeva impostazioni progettuali che comportassero interventi diffusi e contemporanei

che avrebbero richiesto la piena disponibilità degli spazi, mentre invece si rendeva necessario individuare modalità d'intervento che potessero realizzarsi indipendentemente, per sottocantieri e ogni volta con limitata sottrazione di spazi all'attività in essere.



Figura 2 ◀

C. Prandi

Intervento di miglioramento sismico in un fabbricato produttivo

Reperiti grazie alla diligente conservazione del Committente gli elaborati di progetto delle strutture prefabbricate, circostanza fortunata dato che l'archivio comunale aveva scaffalature ribaltate e risultava inagibile e inaccessibile, si procedeva a riscontri dimensionali e verifiche della presenza conforme delle armature metalliche nei pilastri, principalmente ricorrendo a diffusi rilievi con pacometro.

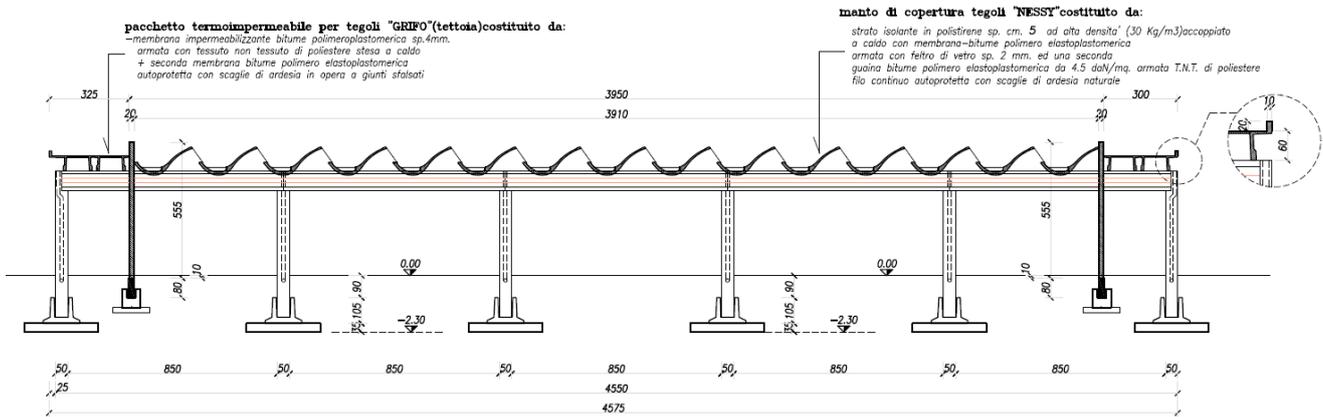


Figura 3 ▲

La prima fase d'intervento ha previsto il posizionamento di piastre metalliche tra i componenti prefabbricati; questa operazione rispondeva alle esigenze primarie di sicurezza, escludendo possibili movimenti reciproci tra i componenti, oltretutto essendo premessa indispensabile alla successiva modellazione che assume l'ipotesi di elementi reciprocamente vincolati; causa l'urgenza dovuta alle scosse che si ripetevano continuamente, queste operazioni di progetto sono state eseguite speditivamente dimension-

ando le piastre per aree di influenza e seguendo procedimenti di calcolo semplificati. Procedendo per limitati sottocantieri e privilegiando connessioni con impiego di tasselli chimici, si completavano le operazioni nell'intero immobile in circa 4 settimane senza interruzione dell'attività produttiva; sicuramente si sono avuti disagi legati alla maggiore presenza di polvere ed al rumore, ma sono state rasserenate non poco le Maestranze che hanno proseguito il lavoro pur con la sequenza sismica in atto.

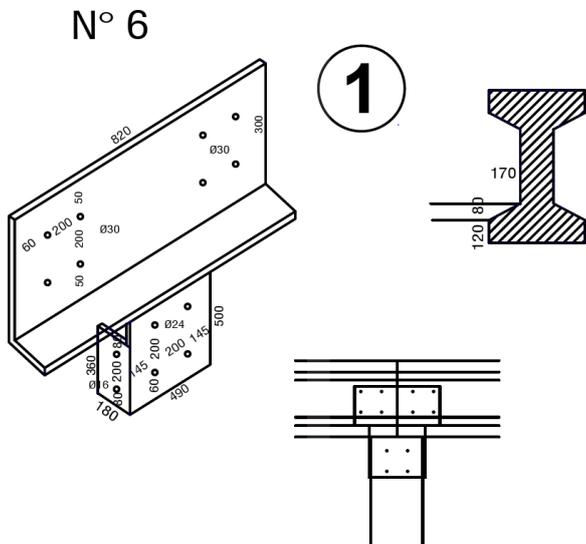


Figure 4-5 ▲

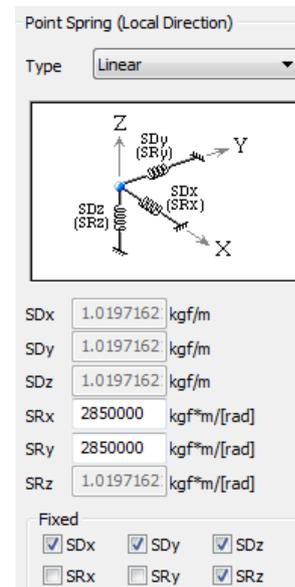
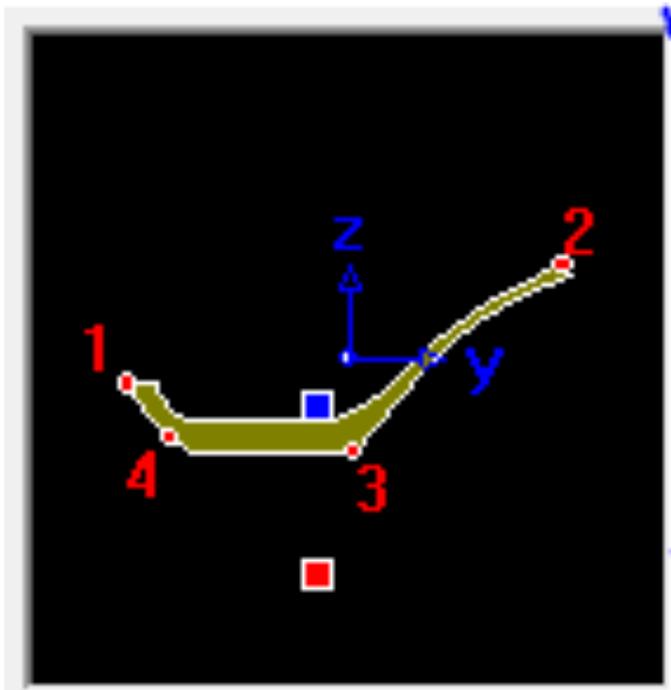
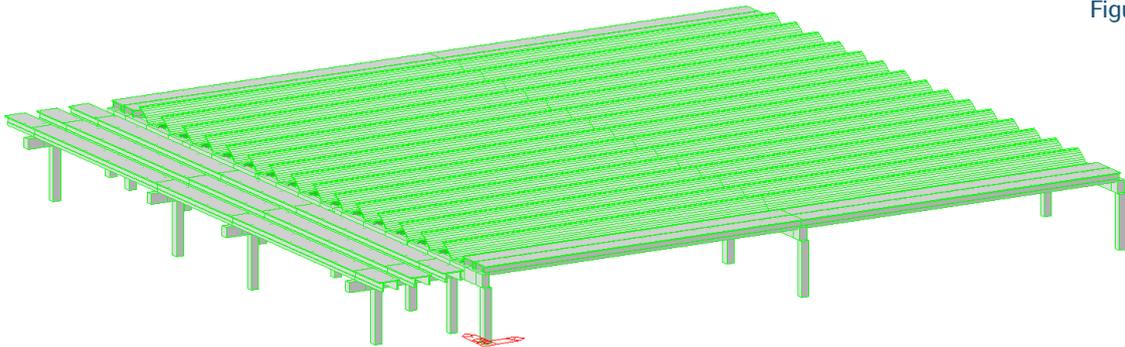
C. Prandi

Intervento di miglioramento sismico in un fabbricato produttivo

La modellazione con elementi *beam* cercava di riprodurre in modo quanto più conforme possibile la struttura reale, tanto nelle sezioni dei componenti che nei disassamenti degli stessi rispetto all'unifilare; in questo modo si intendeva conseguire una più corretta distribuzione di masse e rigidezze della struttura.

Mediante il comando *beam end* veniva attribuito il vincolo di cerniera tra i componenti in elevazione, mentre con il comando *point spring support* veniva attribuita una rigidezza assiale e rotazionale finite ai plinti di fondazione (queste calcolate a parte sulla base della caratterizzazione del terreno di fondazione e dell'area di impronta dei plinti).

Figure 6-7-8 ◀



Definiti i carichi unitari e lo spettro elastico della località, erano attribuiti i carichi di pertinenza agli elementi; imposto un fattore di comportamento pari a 1,5, veniva lanciata l'analisi dinamica modale, ottenendo frequenze e masse partecipanti per i modi richiesti (n° 5 per ciascuna

delle 2 direzioni principali).

Era riconosciuta una buona regolarità del modello che già nei primi tre modi raccoglieva masse partecipanti superiori al 95% e restituiva configurazioni deformate convincenti.

C. Prandi

Intervento di miglioramento sismico in un fabbricato produttivo

Mode No	Frequency		Period (sec)	Tolerance			
	(rad/sec)	(cycle/sec)					
1	6.3819	1.0157	0.9845	8.1784e-029			
2	6.9648	1.1085	0.9021	8.1784e-029			
3	8.7927	1.3994	0.7146	8.1784e-029			
4	14.5311	2.3127	0.4324	1.8019e-026			
5	18.8893	3.0063	0.3326	4.2054e-019			

MODAL PARTICIPATION MASSES PRINTOUT												
Mode No	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z		ROTN-X		ROTN-Y		ROTN-Z	
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
1	0.0069	0.0069	80.6136	80.6136	0.0000	0.0000	2.6879	2.6879	0.0002	0.0002	16.0591	16.0591
2	96.5919	96.5988	0.0286	80.6423	0.0000	0.0000	0.0010	2.6889	3.2207	3.2209	0.0360	16.0951
3	0.0607	96.6595	15.9686	96.6109	0.0000	0.0000	0.5324	3.2213	0.0020	3.2230	78.8869	94.9820
4	0.0901	96.7496	0.0182	96.6291	0.0000	0.0000	0.0006	3.2219	0.0030	3.2260	0.4933	95.4753
5	0.0857	96.8353	0.0065	96.6356	0.0000	0.0000	0.0002	3.2222	0.0029	3.2288	0.0184	95.4936

Figura 9 ▲

L'analisi del modello rappresentante la condizione iniziale del fabbricato si concludeva con la definizione delle combinazioni di carico statiche e sismiche e con il riconoscimento degli elementi oltremodo sol-

lecitati (nel caso specifico veniva richiesta agli elementi una capacità pari al 60% di quella richiesta a un fabbricato nuovo con medesime caratteristiche e ubicazione).

No	Name	Active	Type	Description
1	cLCB1	Strengt	Add	1.4D + 1.5(1.0CV)
2	cLCB2	Strengt	Add	1.0D + 1.0(0.3)L + 1.0(1.0(1.00)SV x+0.3(1.00)SV y)
3	cLCB3	Strengt	Add	1.0D + 1.0(0.3)L + 1.0(1.0(1.00)SV x-0.3(1.00)SV y)
4	cLCB4	Strengt	Add	1.0D + 1.0(0.3)L + 1.0(1.0(1.00)SV y+0.3(1.00)SV x)
5	cLCB5	Strengt	Add	1.0D + 1.0(0.3)L + 1.0(1.0(1.00)SV y-0.3(1.00)SV x)
6	cLCB6	Strengt	Add	1.0D + 1.0(0.3)L - 1.0(1.0(1.00)SV x+0.3(1.00)SV y)
7	cLCB7	Strengt	Add	1.0D + 1.0(0.3)L - 1.0(1.0(1.00)SV x-0.3(1.00)SV y)
8	cLCB8	Strengt	Add	1.0D + 1.0(0.3)L - 1.0(1.0(1.00)SV y+0.3(1.00)SV x)
9	cLCB9	Strengt	Add	1.0D + 1.0(0.3)L - 1.0(1.0(1.00)SV y-0.3(1.00)SV x)
10	cLCB10	Service	Add	SERV :1.0D + 1.0CV
11	cLCB11	Service	Add	SERV :1.0D + 0.5CV
12	cLCB12	Service	Add	SERV :1.0D + 0.3CV

Figure 10-11 ◀

MEMB	SE	Section		fck	fyk	CHK	LC	V-Rebar	N_Rdmax	N_Ed	M_Edy	M_Edz	V_Rdc.end	V_Rds.end	V_Rdc.mid	V_Rds.mid	LC	V_Ed.end	Rat-V.end
SECT	L	Bc	Hc	Height	fjw					Rat-N	Rat-My	Rat-Mz	Rat-Vc.end	Rat-Vs.end	Rat-Vc.mid	Rat-Vs.mid		V_Ed.mid	Rat-V.mid
9	□	pilastro 50x5	3059149	4.1E+07	OK	2	8-3-P13	545346	19193.2	12155.7	3362.14	12148.8	4241.38	12306.1	8482.77	2	3473.05	0.286	
1	□	0.500	0.500	3.5000	4.1E+07				0.925	0.925	0.926	0.286	0.819	0.282	0.409	2	3473.05	0.282	
10	□	pilastro 50x5	3059149	4.1E+07	OK	6	8-3-P13	545346	43594.2	15354.1	2495.71	15589.3	4241.38	15746.6	8482.77	6	4329.65	0.278	
1	□	0.500	0.500	3.5000	4.1E+07				0.745	0.744	0.711	0.278	1.021	0.275	0.510	6	4329.65	0.275	
11	□	pilastro 50x5	3059149	4.1E+07	NM*	9	8-3-P13	545346	7129.92	178.248	19288.6	10762.4	4241.38	10919.7	8482.77	9	8308.50	0.772	
1	□	0.500	0.500	3.5000	4.1E+07				2.005	2.063	2.028	0.772	1.959	0.761	0.979	9	8308.50	0.761	
12	□	pilastro 50x5	3059149	4.1E+07	NM*	2	8-3-P13	545346	24208.3	15537.2	3400.36	12877.8	4241.38	13035.0	8482.77	6	4435.28	0.344	
1	□	0.500	0.500	3.5000	4.1E+07				1.210	1.191	1.178	0.344	1.046	0.340	0.523	6	4435.28	0.340	

Globalmente il modello evidenziava la presenza di modi principali roto-traslazionali che corrispondevano al comportamento prevalente del fabbricato soggetto all'azione del sisma. Le mappe tensionali e di deformazione degli elementi, associate alle relative combinazioni di carico, indicavano l'orientamento da seguire per i più opportuni interventi di miglioramento, che nel caso specifico erano individuati in

opere di controventamento secondo le due direzioni principali del fabbricato; i controventi, limitando gli spostamenti e assorbendo parte del tagliante sismico, avrebbero ridotto le sollecitazioni in tutti i pilastri; un ulteriore intervento di incamiciatura dei pilastri disposti agli angoli della costruzione, avrebbe ridotto i gravosi effetti locali del moto rotazionale.

C. Prandi

Intervento di miglioramento sismico in un fabbricato produttivo

A questo punto si predisponava un nuovo modello che veniva dotato di controventi metallici a croce e di pilastri d'angolo con incamiciatura metallica; i brevissimi tempi di elaborazione richiesti, una volta definita la normativa di riferimento, consentivano di procedere al dimensionamento per tentativi delle nuove parti metalliche, sia quanto al posizionamento che alle sezioni. Si giungeva rapidamente a una soluzione finale, che prevedeva controventi disposti tra pilastri interni in posizioni

compatibili con la movimentazione dell'attività e un sistema di controvento esterno dove invece gli ingombri non costituivano ostacolo.

Il software offre varie possibilità di indagine, tra queste con il comando *reactions forces-moments* la sommatoria delle azioni al piede dei pilastri, grazie alla quale si determina la risultante delle azioni orizzontali (tagliante al piede) che può essere rapportata alla risultante delle azioni verticali, ottenendo indirettamente un valore medio per il fabbricato di *a/g*.

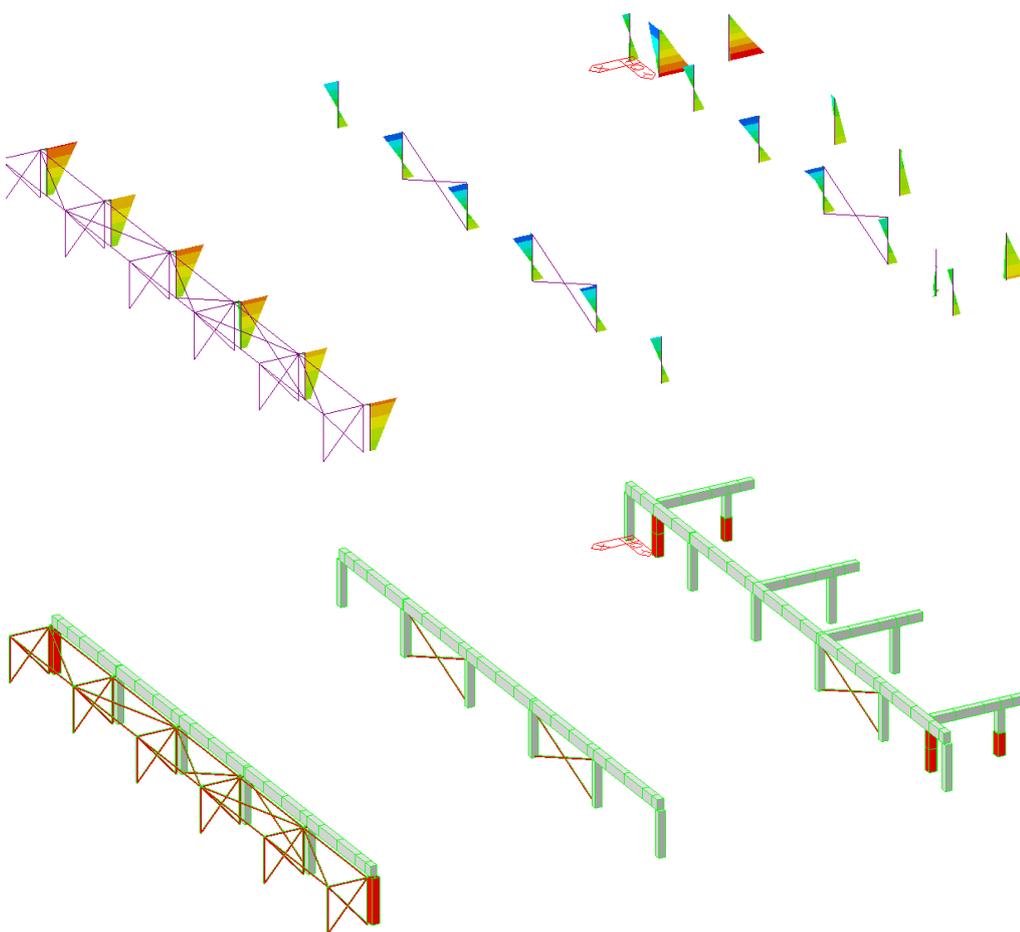


Figure 12-13 ◀

Le azioni al piede dei pilastri hanno consentito la verifica di compatibilità delle fondazioni esistenti per le combinazioni di carico statiche e sismiche, in particolare per queste ultime è stato possibile riconoscere azioni di sollevamento che richiedevano connessioni e masse di ancoraggio adeguate

(situazione presente per il sistema di controvento esterno). Utile il comando *element weight tables* in quanto permette di risalire ai pesi dei materiali d'impiego e a una conseguente e sommaria quantificazione economica, ottenendo poi anche facilmente costi unitari di riferimento.

SUMMATION OF REACTION FORCES PRINTOUT				
Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	
cLCB2	-1658.016539	-299.559136	9138.380139	

Figura 14 ◀

C. Prandi

Intervento di miglioramento sismico in un fabbricato produttivo

Le procedure di verifica presenti nel software per gli elementi in cemento armato e in acciaio permettevano di riscontrare agevolmente i rapporti tra capacità delle sezioni e richiesta normativa.

Il percorso progettuale ha previsto, in via prudenziale, la predisposizione di due modelli per la condizione modificata:

- un primo modello, con azione sismica pari al 60% di quella prevista per i nuovi fabbricati e fattore di comportamento pari a 1.5, veniva impiegato per riscontrare l'adeguatezza dei pilastri in c.a. esistenti;
- un secondo modello, con azione sismica pari a quella prevista per i nuovi fabbricati e fattore di comportamento pari all'unità, veniva impiegato per riscontrare l'adeguatezza delle nuove parti in acciaio;
- La possibilità di confronto tra le rigidezze, in termini di periodi di vibrazione, per i modelli rappresentanti la condizione iniziale e quella modificata, indirizzava ad alcune riflessioni sulla strategia di progetto adottata;
- l'impiego di controventi elastici aveva irrigidito significativamente la costruzione, limitandone le possibilità di spostamento, ma ne aveva anche incrementato l'azione sismica di competenza;
- l'assorbimento di parte dei taglianti legati al sisma da parte dei nuovi controventi metallici, aveva alleggerito l'impegno dei pilastri in c.a. esistenti, portando i valori dei rapporti di capacità a valori compatibili;
- grazie all'azione di irrigidimento, la costruzione risulta maggiormente protetta per eventi sismici limitati e con probabile maggiore frequenza di accadimento, ma è più esposta all'azione di sismi con forte intensità ai quali vengono probabilisticamente attribuiti tempi di ritorno più ampi.

Consapevole di quanto detto sopra, si era cercato di attenuare le possibili conseguenze più gravose provvedendo al sovradimensionamento dei controventi metallici, che in presenza di azioni violente in grado di determinare cedimenti flessione/taglianti alla base dei pilastri in c.a., avrebbero potuto contribuire al mantenimento di un temporaneo schema pendolare, con tempi sufficienti per l'uscita degli occupanti.

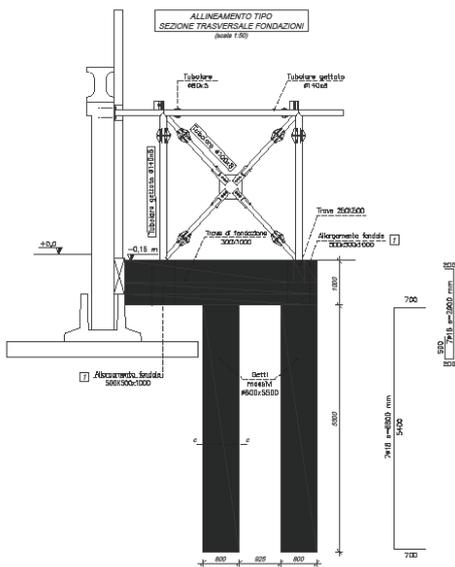


Figura 15 ▲
Sezione tipo di controvento esterno con fondazioni massive per contrastare le azioni di sollevamento



Figura 16 ▲
Immagine d'insieme del sistema controventante esterno

La seconda fase degli interventi è stata completata in 6 settimane circa, delimitando i sottocantieri d'intervento e concordando con la Proprietà il calendario dei lavori per avere adeguata disponibilità degli spazi, senza interromperne l'attività. La scelta delle sezioni dei nuovi componenti metallici ha privilegiato l'impiego di tubolari, preferiti per l'immagine restituita di una maggiore snellezza; è stata privilegiata la ripetitività e la limitata dimensione dei componenti per facilitare le operazioni di accesso e montaggio; i tubo-

lari del sistema di controvento esterno, per migliorarne le prestazioni e limitarne l'esposizione agli urti dei mezzi, sono stati inghiessati con malta cementizia.

In questa attività di progetto e gestione del cantiere, seppure solo per una parte dell'impegno complessivo, l'impiego di un software affidabile e completo per qualità ed efficacia delle restituzioni ha permesso di procedere alle scelte progettuali e alle inevitabili varianti con consapevolezza e tempestività, confermandosi ancora una volta come indispensabile supporto.

C. Prandi

Intervento di miglioramento sismico in un fabbricato produttivo

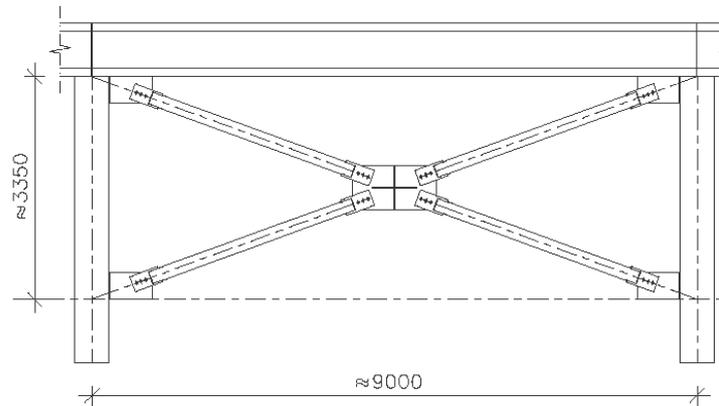


Figura 17 ▲
Controvento interno



Figura 18 ▲
Raccordo delle aste di un controvento interno

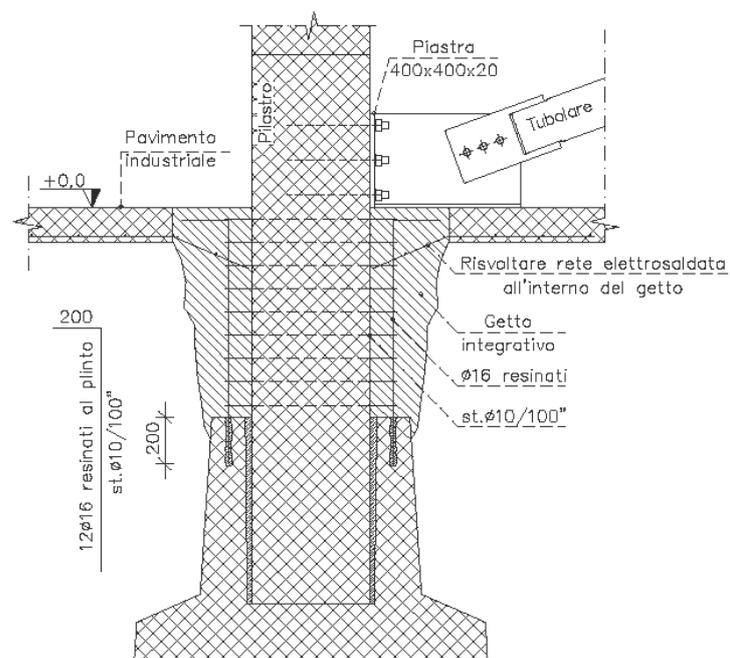


Figura 19 ▲
Adeguamento alla base dei pilastri interessati dal posizionamento dei controventi