



PORTA NUOVA GARIBALDI MILANO EDIFICIO E3 EAST



L'edificio nasce sopra una struttura esistente in c.a. di tre piani che ospitano parcheggi e attività commerciali. Gli esiti delle analisi hanno evidenziato la necessità di opere di rinforzo delle strutture esistenti, aggiungendo nuovi setti e irrobustendo i controventi esistenti, le fondazioni sono risultate idonee a sopportare l'incremento di carico. Al primo piano interrato, è stato realizzato un graticcio di travi parete di altezza pari all'interpiano tale da sostenere "in falso" tutte le nuove strutture in elevazione.

Per le opere di rinforzo delle strutture interrate esistenti si è impiegato un calcestruzzo di classe C45/55, le nuove strutture in elevazione sono state realizzate con calcestruzzi leggeri (LC 35/38 e LC 30/33). Sono di particolare importanza le strutture a sbalzo che realizzano l'arretramento delle strutture verticali a livello del piano strada. Si presenta del tutto particolare il rivestimento esterno in legno, che dà origine ad una geometria "divergente" rispetto al filo facciata.

L'opera: informazioni principali

L'edificio E3 EAST, progettato dall'arch. Mario Cucinella (MC A Mario Cucinella Architects), risulta essere un intervento altamente rappresentativo a supporto delle attività direzionali dell'area urbana in cui è inserito.

Come la vicina Porta Garibaldi introduce alla piazza XXV Aprile, anche questo edificio vuole presentarsi come un elemento di collegamento filtrante tra il tessuto urbano e il parco adiacente, imponendosi quasi come quinta scenica, un portale.

Il progetto esplora il tema della sintesi tra 'naturale' e 'artificiale' sotto il profilo formale e ambientale. Con i suoi 2.400 mq, è stato concepito come un unicum in cui, il ritmo dei grandi portali, crea un'ampia pergola che si affaccia sulla piazza e sul parco.

La ripetizione degli elementi strutturali e formali, secondo un ritmo serrato e regolare, genera il volume dell'edificio e frammenta il landscape in scorci modulari che movimentano il percorso che, da Piazza Gae Aulenti, porta alle Varesine.



>> Figura 1 Edificio E3 East



>> Figura 2 Edificio E3 East

L'edificio si distingue per forma e carattere dagli edifici limitrofi, riprendendo il legno quale elemento di contrasto in un landscape dominato dalle vetrate.

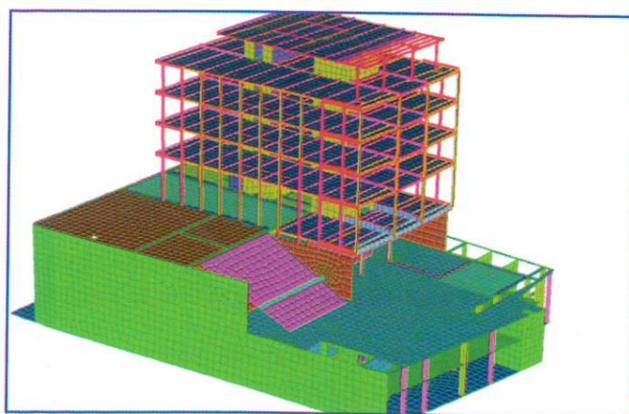
Le opere strutturali: interazione con la struttura esistente

Dal punto di vista strutturale, l'edificio nasce da una struttura esistente di tre piani interrati, nel seguito chiamato "Podio", interamente realizzato in calcestruzzo armato, che ospita parcheggi e attività commerciali. Il collegamento tra l'E3 East e l'esistente sottostruttura è di tipo rigido e quindi in fase di progettazione si è proceduto all'analisi del comportamento d'insieme della struttura risultante, soggetta alle azioni statiche e dinamiche.

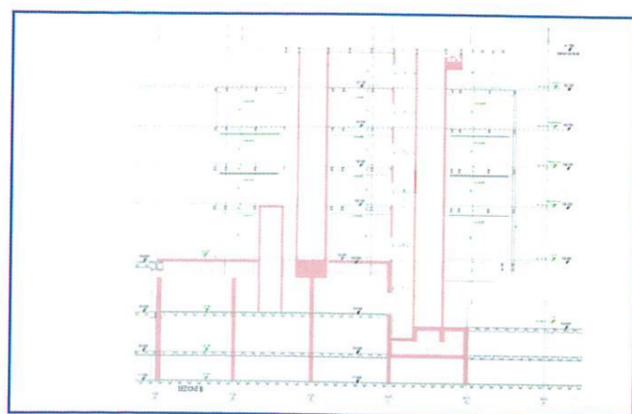
Gli esiti di queste analisi hanno evidenziato la necessità di interventi di rinforzo delle strutture in c.a. esistenti, aggiungendo nuovi setti e incrementando i controventi in essere; le fondazioni, invece, sono risultate idonee a sopportare il carico aggiunto derivante dalle nuove strutture di elevazione. Le opere di rinforzo di maggiore rilevanza hanno riguardato il primo piano interrato, dove è stato realizzato un graticcio di nuove travi parete, di altezza pari all'interpiano, in luce ai setti in c.a. esistenti, adeguatamente rinforzati. Tali travi pareti sono state progettate al fine di poter sostenere "in falso" tutte le nuove strutture di elevazione dell'E3 East, senza indurre deformazioni sull'esistente in grado di compromettere le opere di finitura. Si è optato per realizzare tutti i rinforzi della volumetria interrata con calcestruzzi ad alte prestazioni, di classe C45/55.



>> Figura 3 Edificio E3 East



>> Figura 4 Metodo agli elementi finiti



>> Figura 5 Sezione longitudinale



>> Figura 6 Taglio delle strutture esistenti



>> Figura 7 Graticcio di travi parete



>> Figura 8 Controventi esistenti irrobustiti

I rinforzi ed i nuovi elementi portanti introdotti nell'interrato esistente hanno interessato una zona molto limitata e ciò è stato possibile grazie ad uno studio approfondito della disposizione degli elementi di controvento del nuovo edificio.

Nuove strutture in calcestruzzo armato normale e precompresso

Le nuove strutture in elevazione sono costituite da due core principali, in posizione centrale rispetto alla pianta dell'edificio, che gravano sulle sopradescritte travi parete.

Tali nuclei scala definiscono, con il loro andamento, le due direzioni principali di sviluppo della pianta dell'edificio e si elevano per quattro piani fuori terra. Tali opere sono state realizzate con calcestruzzo leggero LC 35/38, al fine di ridurre al minimo il sovraccarico aggiunto sulle strutture dell'interrato ed in particolare sulla relativa fondazione.

Per velocizzare la loro realizzazione, si è optato per una soluzione prefabbricata delle rampe, in abbinamento alle tecniche tradizionali adottate per i pianerottoli e le pareti.



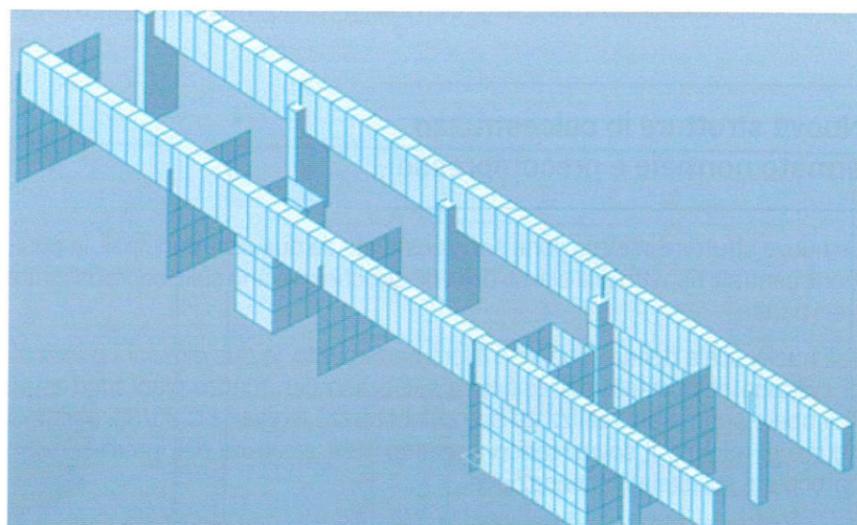
>> Figura 9
Rampe scale prefabbricate

Il lato dell'edificio rivolto verso via Melchiorre Gioia è caratterizzato da un importante arretramento strutturale a livello del piano terra (piazza), legato alla scelta architettonica di disallineare l'ingresso dell'edificio rispetto al filo principale di facciata. Il carico derivante dai pilastri di facciata interrotti viene ripreso in falso da due travi di rilevante rigidità con carico concentrato in punta su una luce a sbalzo di circa 4,65 m. La soluzione strutturale adottata prevede l'inserimento di due travi post-tese a cavi aderenti aventi sezione di 50 cm di larghezza e ben 180 cm in altezza e realizzate in calcestruzzo di classe C45/55. La progettazione di tali travi è stata complessa, non solo per il loro importante impegno statico, ma anche per il controllo del campo deformativo, che è stato ridotto il più possibile per garantire il corretto funzionamento delle opere di finitura. Il sistema di post-tensione è stato tarato in modo tale da minimizzare le sollecitazioni flettenti alla base delle strutture verticali. Inoltre è stato adattato per consentire la tesatura in un'unica fase così da prevenire eventuali problemi nella ri-tesatura e consentire un movimento uniforme di tutta la struttura durante la costruzione senza l'applicazione di forze esterne durante la fase costruttiva.

La modellazione per fasi ha consentito una valutazione attenta di tutte le variabili quali:

- sviluppo della resistenza del materiale;
- fenomeni di viscosità e ritiro;
- perdite del sistema di post-tensione (immediate e differite nel tempo);
- gradualità di applicazione del carico nel tempo.

Gli elementi utilizzati nella modellazione sono stati principalmente elementi monodimensionali (beam) ed elementi bi-dimensionali (wall): tutta la struttura è stata vincolata rigidamente al piede (incastro).



>> Figura 10 Modello FEM travi c.a.p.

La modellazione per fasi è stata inserita come di seguito:

- creazione della struttura e dei vincoli;
- applicazione della post-tensione in unica fase;
- applicazione del carico da peso proprio strutturale in 4 fasi di durata 30 giorni ciascuna;
- applicazione del carico permanente portato in 5 fasi di durata 30 giorni ciascuna;
- applicazione dei carichi accidentali (combinati in rara ed in QP, per la modellazione a fasi non si fa riferimento a SLU) in 5 fasi di durata 30 giorni ciascuna;
- valutazione a lungo termine a 1.000 gg;
- valutazione a lungo termine a 5.000 gg;
- valutazione a lungo termine a 10.000 gg.

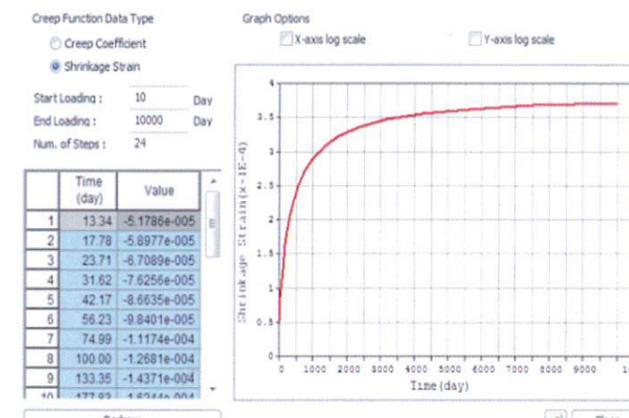
Nel seguito si riportano le curve di creep, di ritiro e di sviluppo della resistenza del calcestruzzo utilizzate nella progettazione delle due travi in c.a.p.

La valutazione delle perdite del sistema di post-tensione è stata valutata sulla base del reale andamento del cavo, del diametro della guaina e dei coefficienti d'attrito inseriti.

Dall'analisi di ogni singolo cavidotto, è stata ottenuta una forza a lungo termine media di circa 1500,0 kN; si ottiene quindi una tensione nell'armatura di post-tensione pari a 1110,0 MPa con una perdita a lungo termine pari al 23%, perdita che risulta essere compatibile con la tipologia strutturale in esame.



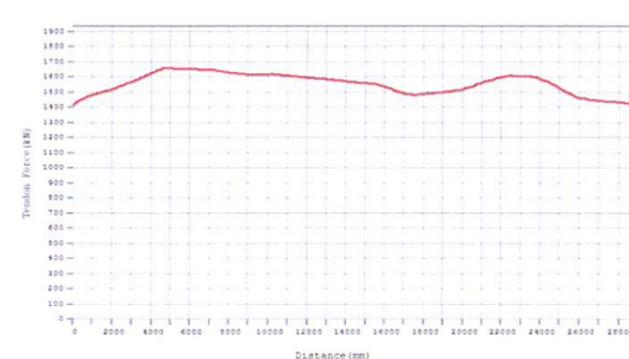
>> Figura 11 Curva di creep



>> Figura 12 Curva di ritiro



>> Figura 13 Curva di resistenza del cls



>> Figura 14 Forza nel cavidotto

Nell'immagine riportata vengono mostrati i dettagli delle teste di pre-compressione.

Sono state condotte verifiche del campo deformativo, con particolare riferimento alla punta dello sbalzo. È stato assunto quale limite massimo deformativo il valore di 1/500 a tempo infinito.

Valutazione del campo deformativo:

f1: Abbassamento/sollevamento da p.p.+p.t. su estremo sbalzo: +4,27 mm

f2: Abbassamento/sollevamento da p.p.+p.t. su appoggio: -0,62 mm

f3: Abbassamento/sollevamento a tempo infinito su estremo sbalzo: -8,47 mm

f4: Abbassamento/sollevamento a tempo infinito su appoggio: -2,95 mm

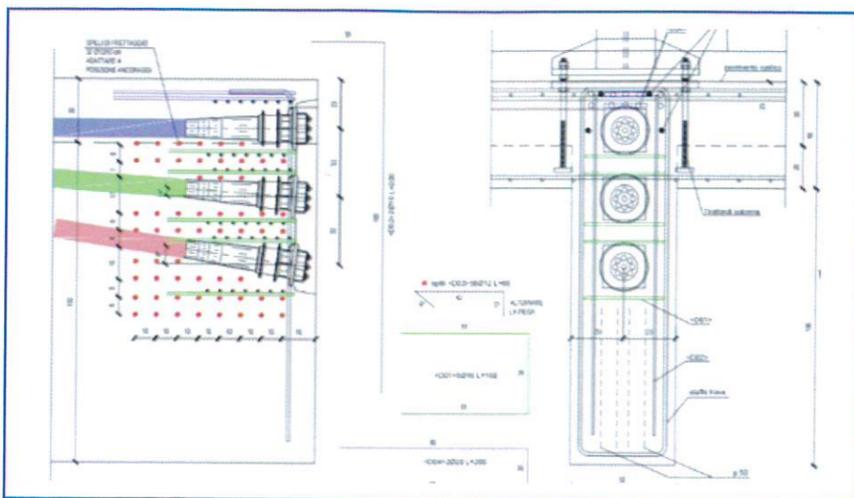
Il limite di deformabilità consentito risulta pari a:

$$1/500 \times 2 \times 4650 = 18,60 \text{ mm}$$

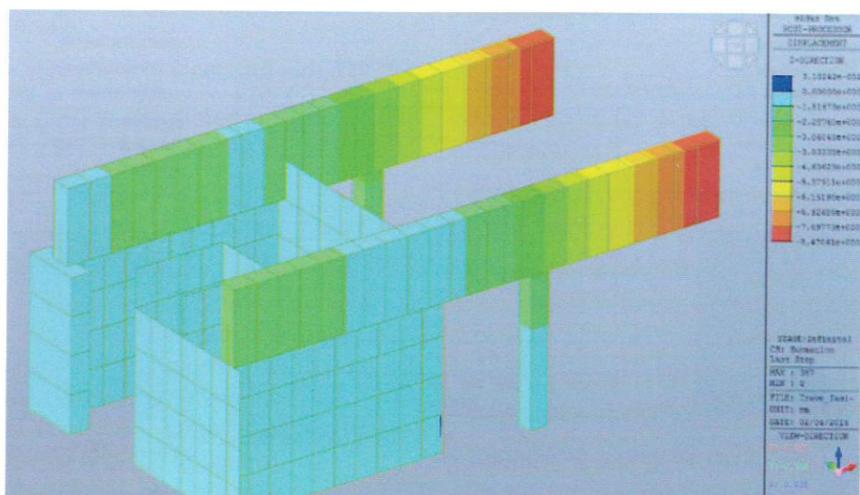
A lungo termine (10.000 gg) si è ottenuta una freccia:

$$f(t=\infty) = f1 - f3 = 4,27 + 8,47 = 12,74 \text{ mm}$$

che porta ad un rapporto pari a 1/730 circa che risulta essere compatibile con le opere progettate.



>> Figura 15 Teste di precompressione



>> Figura 16 Spostamento verticale

Nuove strutture miste acciaio-calcestruzzo

Le nuove strutture di piano sono composte da colonne in profili tipo HE, da tre orditure di travi HE ed IPE, di cui le principali e le secondarie sono rese collaboranti con la soletta in calcestruzzo armato con pioli di diametro pari a 19 e 22 mm.

La soletta è realizzata in lamiera grecata collaborante con calcestruzzo alleggerito LC30/33.

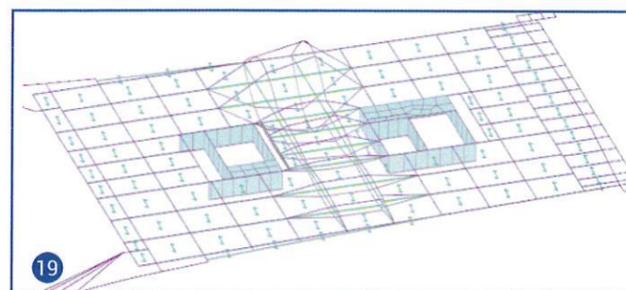
Nei piani sono state inserite delle controventature al fine di bloccare gli spostamenti durante la fase di getto.

Nella Figura 18 viene mostrata una fase di montaggio della carpenteria metallica di piano.

Al fine di garantire un comfort vibrazionale delle strutture di piano, sono state condotte analisi modali per determinare la minima frequenza di vibrazione.

La minima frequenza di vibrazione in combinazione frequente di progetto è risultata pari a 5,4Hz. Si consideri che il modello con soletta collaborante non tiene in considerazione la rigidità aggiuntiva dovuta al comportamento bidirezionale della soletta collaborante.

Il progetto rispetta il minimo previsto dalla normativa italiana, che, per so-



>> Figura 17 Teste di precompressione

>> Figura 18 Struttura di piano

>> Figura 19 Analisi vibrazionale

>> Figura 20 Modello FEM "vele"

lette caricate normalmente da persone, è pari a 3 Hz. Risulta verificata anche la limitazione consigliata per strutture soggette a carichi ciclici, dove è richiesta una frequenza naturale superiore a 5 Hz.

Rivestimento esterno

Un'ulteriore peculiarità dell'edificio consiste nel suo rivestimento esterno, che si aggiunge alla facciata vetrata quale elemento di schermatura dell'edificio.

Tale involucro, posizionato solo sui fronti principali nord e sud, consta di centine in legno lamellare, poco più alte dell'edificio e posizionate a interassi variabili, prossimi ai 75 cm.

Gli elementi in legno, molto esili e snelli, seguono perlopiù l'allineamento principale del prospetto, ma gradualmente mostrano un'inclinazione progressiva in pianta, tanto da creare una geometria divergente rispetto al filo facciata, che prosegue oltre l'edificio quale elemento decorativo della piazza.

In tale tratto le lame in legno lamellare trovano un vincolo al piede sul podio esistente e lungo il loro sviluppo principale in quattro punti tramite travi in acciaio di sezione tubolare, quali "tangoni" di controventatura della suddetta "vela".

Tali strutture, costituite da reticolari piane, si ancorano all'edificio a livel-

lo dei pilastri principali e presentano un'appendice isostatica a mensola orizzontale che costituisce il vincolo delle lame in legno che proseguono oltre il prospetto ovest dell'edificio.

Nel seguito si riportano i principali riferimenti del progetto E3 EAST:

Cliente: Coima SGR S.p.A.

Progetto: Mario Cucinella Architects

General Contractor: Colombo Costruzioni

Progetto Strutturale Esecutivo: MSC Associati

Progetto Strutturale Costruttivo: MSC Associati e Studio Capè

