

PORTA NUOVA GARIBALDI (MI) BUILDING E3 EAST

PORTA NUOVA GARIBALDI (MI) EDIFICIO E3 EAST

A. Migliacci¹, D. Campagna¹, A. Sangalli¹, C. Lualdi¹

¹ MSC Associati S.r.l., Milan, Italy

ABSTRACT: The building rises above an existing reinforced concrete structure of three floors that house parking lots and commercial activities. The results of the structural analyses highlighted the need for strengthening the existing structures, adding new walls and strengthening existing bracing elements, foundations were able to withstand the increase in load. On the first basement floor, a truss beam has been created, with the depth equal to the inter-storey height, so as to support all the new off-set structures in elevation. For the strengthening works of the existing underground structures a C45/55 concrete type was used, the new structures of the upper floors were made with light-weight concrete (LC 35/38 and LC 30/33 types). The slab structures cantilevered out and supported by the column recess at street level are of particular importance. The external wooden cladding is very peculiar, giving shape to a "divergent" geometry from the flat façade behind. / 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.

KEYWORDS: reinforced concrete; ligh-weight concrete; structural robustness; material heterogeneity; steel / calcestruzzo armato; calcestruzzo leggero, robustezza strutturale; eterogeneità del materiale; acciaio

1 INTRODUZIONE

1.1 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.



Figure 1. Building E3 EAST/ 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.



Figure 2. Building E3 EAST/ Edificio E3 East

L'E3 East ospita uffici direzionali e si sviluppa su quattro piani fuori terra, con una zona retail al piano terra.



Figure 3. Building E3 EAST/ Edificio E3 East

2 OPERE STRUTTURALI

2.1 Interazione con 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.

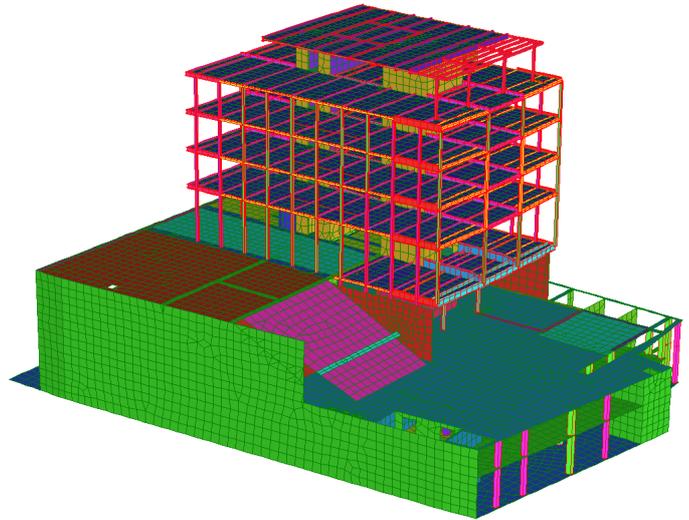


Figure 4. Finite Element Method / Metodo agli elementi finiti

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.

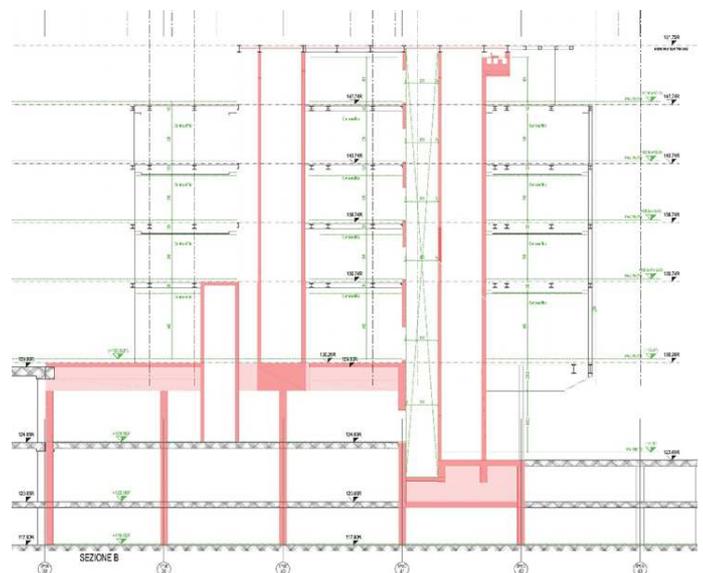


Figure 5. Longitudinal section / Sezione longitudinale

Si è optato per realizzare tutti i rinforzi della volumetria interrata con calcestruzzi ad alte prestazioni, di classe C45/55.



Figure 6. Cutting of existing structures / Taglio delle strutture esistenti



Figure 7. Grid of wall beams / Graticcio di travi parete



Figure 8. Strengthening existing bracing elements / 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.

2.2 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 sopra descritte 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 calcestruzzi 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.



Figure 9. Prefabricated stair ramps / 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 4.65m.

La soluzione strutturale adottata prevede l'inserimento di due travi post-tese a cavi aderenti aventi sezione di 50cm 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).

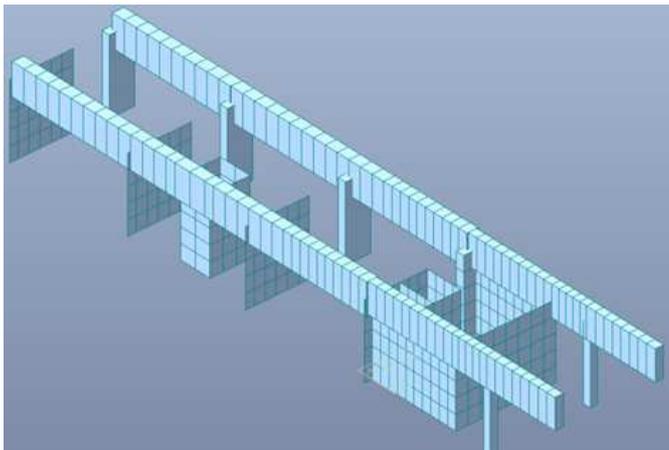


Figure 10. FEM model of prestressed r.c. beams / Modello FEM travi c.a.p.

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 gg 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 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.

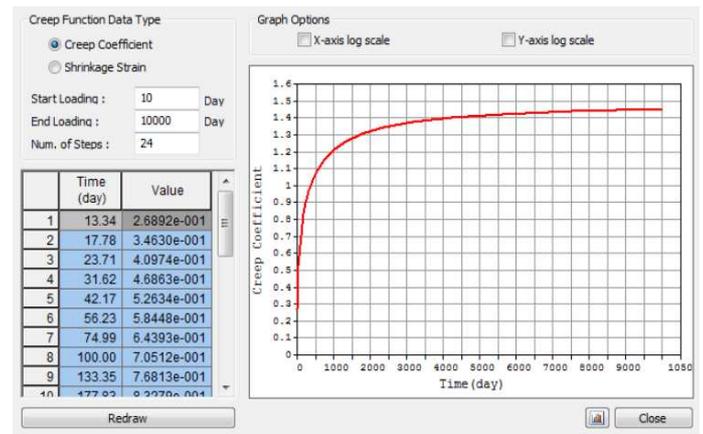


Figure 11. Creep curve / Curva di creep

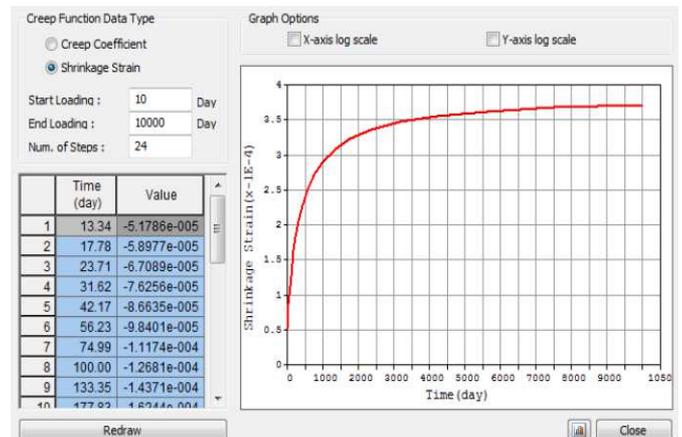


Figure 12. Shrinkage curve / Curva di ritiro

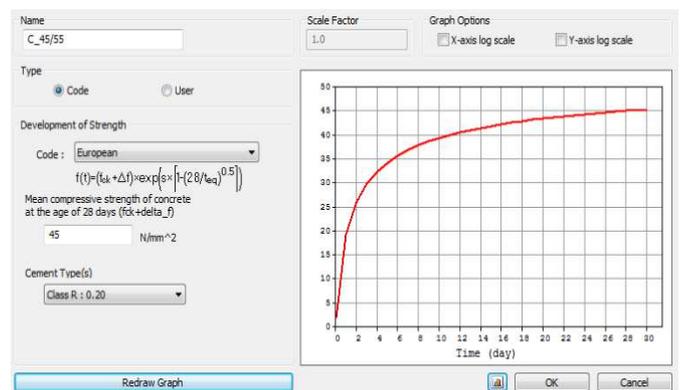


Figure 13. Compressive strength curve of the concrete / Curva di resistenza del cls

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.

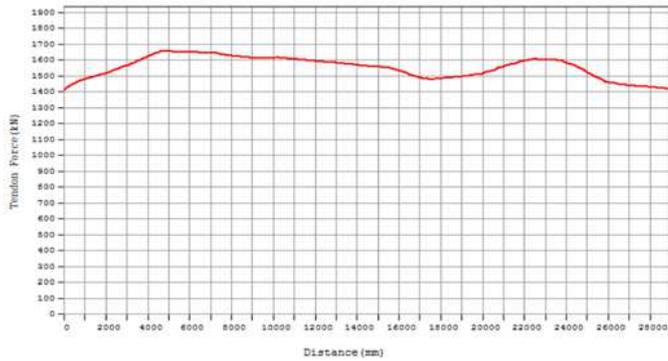


Figure 14. Force in the cable duct / Forza nel cavidotto

Nell'immagine sotto riportata vengono mostrati i dettagli delle teste di precompressione.

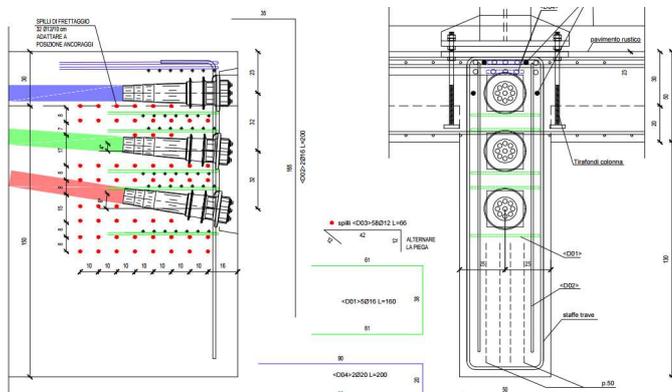


Figure 15. Prestressing anchor heads / Teste di precompressione

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.

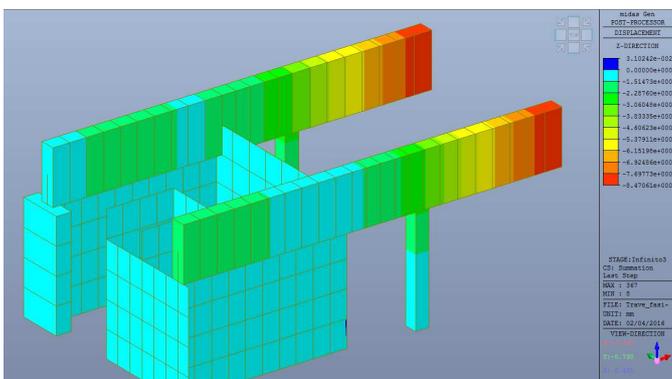


Figure 16. Vertical displacement / Spostamento verticale

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 (10.000gg) 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.

2.3 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.

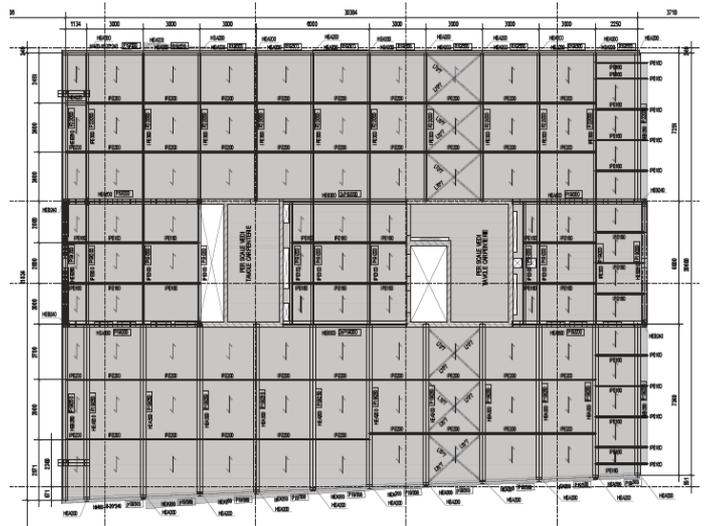


Figure 17. Typical plan / Pianta tipo

Nella figura seguente viene mostrata una fase di montaggio della carpenteria metallica di piano.



Figure 18. Floor structure / Struttura di piano

Al fine di garantire un confort 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 rigidezza aggiuntiva dovuta al comportamento bidirezionale della soletta collaborante.

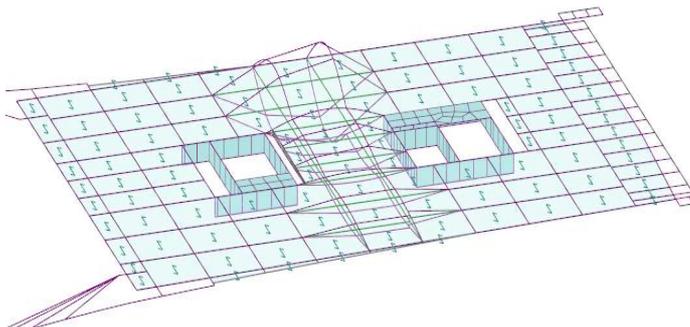


Figure 19. Vibrational analysis / Analisi vibrazionale

Il progetto rispetta il minimo previsto dalla normativa italiana, che, per solette caricate normalmente da persone, è pari a 3Hz. Risulta verificata anche la limitazione consigliata per strutture soggette a carichi ciclici, dove è richiesta una frequenza naturale superiore a 5Hz.

3 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 livello dei pilastri principali e presentano un'appendice isostatica a mensola orizz-

zontale che costituisce il vincolo delle lame in legno che proseguono oltre il prospetto ovest dell'edificio.

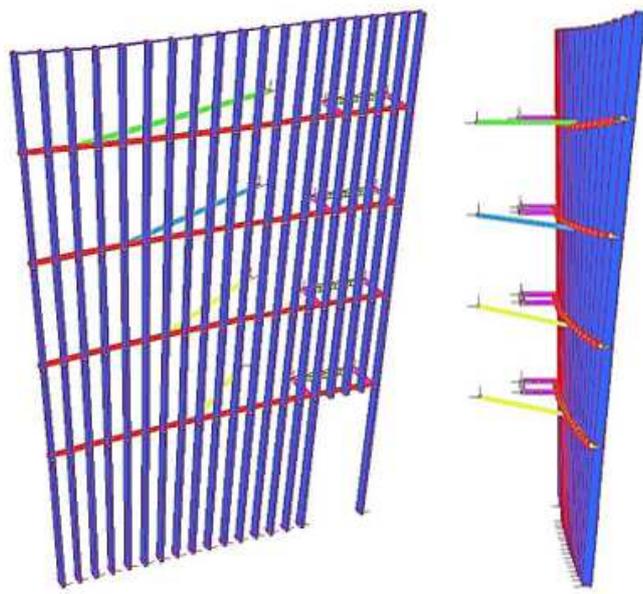


Figure 20. FEM model of "sails" / Modello FEM "vele"

4 SCHEDA OPERA

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