





*Sezione Verticale*

dell'involucro e delle facciate, la Land S.r.l. di Milano per la progettazione del verde, lo Studio GAE S.r.l di Torino per la progettazione antincendio e la società J&A Consultant per il cost control.

La costruzione della torre è stata affidata all'Impresa edile Colombo Costruzioni S.p.a., mentre la Direzione lavori è stata conferita all'Arch.

Enrico Favero di FVR Engineering S.r.l e all'Ing. Stefano Rossi. L'edificio, caratterizzato da un'altezza fuori terra superiore ai 120 m si sviluppa su quattro piani interrati, per un'estensione totale di 26.046 m<sup>2</sup> e su ventiquattro piani fuori terra, per un'estensione totale pari a 42.386 m<sup>2</sup>. Il piano delle fondazioni della torre si colloca ad una quota di circa

18 m rispetto al livello della sede stradale; tale circostanza ha richiesto un attento studio delle opere di contenimento dei terrapieni perimetrali allo scavo. Tale studio è stato sviluppato con la collaborazione dell'Ing. Umberto Croce della Geotecnica Croce S.r.l. di Milano, incaricato dalla MSC Associati Srl per la progettazione delle opere geotecniche.



Photo credits by Donato di Bello

Nel dettaglio sono state progettate paratie multi tirantate, con diaframmi in c.a. di spessore 80 cm sul lato nord ed est e con berlinesi in micropali di acciaio sui restanti lati, al fine di consentire la realizzazione dello scavo sul filo del perimetro della fondiaria.

Particolare attenzione è stata dedicata alle sezioni di contenimento dei terrapieni di scavo sul viale Melchiorre Gioia, in relazione alla presenza del canale interrato della Martesana; canale che venne tombato negli anni '60 mediante la costruzione di una gallerie ipogea con strutture in c.a. in concomitanza della costruzione del vecchio palazzo INPS e la rigenerazione urbanistica del quartiere.

Le fondazioni dell'edificio e i muri interrati di perimetro sono stati realizzati con tecnologia "vasca bianca" al fine di garantire la compartimentazione idraulica dei piani interrati ed evitarne il possibile allagamento in relazione alla possibile futura risalita della quota dell'acqua di falda.

Lo spessore della platea di fondazione

risulta pari a 280 cm sotto i muri in cemento armato della torre, pari a 180 cm sotto la restante sagoma della torre e pari a 80 cm nelle rimanenti aree.

Per questi getti sono stati utilizzati calcestruzzi di classe C28/35 XC2 SCC LH, caratterizzati da un ridotto calore di idratazione al fine di limitare possibili fessurazioni indotte dai sensibili gradienti termici caratterizzanti i getti massivi.

I nuclei di controventamento della torre, ai quali prevalentemente è affidato l'equilibrio alle azioni orizzontali, come sisma e vento, sono stati realizzati con calcestruzzi C45/55 XC3 S5. In particolare è presente un nucleo primario denominato HIGH RISE CORE, collocato nella zona centrale della torre lato est, che si sviluppa per tutta l'altezza del fabbricato. Al suo interno sono presenti 6 vani ascensore, un vano montacarichi utilizzato anche come ascensore di soccorso, due vani scale, i servizi igienici e alcuni locali tecnologici.

Sempre nella zona centrale, ma sul lato ovest, è invece presente un nucleo se-

condario, denominato LOW RISE CORE, che si sviluppa dal piano fondazione al piano quindicesimo, il quale contiene quattro vani ascensore. Come comunemente accade per gli edifici alti, al fine di limitare i tempi di collegamento tra la hall di ingresso e i vari piani uffici, gli ascensori presenti nell'HIGH RISE CORE collegano la hall di ingresso con i piani più alti della torre, mentre gli ascensori presenti nel LOW RISE CORE quelli più bassi.

Per la realizzazione dei getti in calcestruzzo dei CORE sono stati impiegati speciali casseri rampanti, i quali hanno permesso di far evolvere la costruzione di questi elementi strutturali prima della realizzazione dei solai sottostanti, consentendo quindi un'ottimizzazione dei tempi di realizzazione in relazione alla separazione della cantierizzazione degli impalcati di piano.

All'interno del CORE centrale è stata montata una pompa rampante con braccio estendibile che, ricevendo le miscele di calcestruzzo mediante una potente stazione di pompaggio situata

## COIMA

È una piattaforma leader nell'investimento, sviluppo e gestione di patrimoni immobiliari per conto di investitori istituzionali: COIMA SGR, gestisce 24 fondi di investimento immobiliare con oltre 6 miliardi di euro di investimenti e conta nel proprio portafoglio oltre 150 proprietà, inclusi oltre 40 immobili certificati LEED; COIMA srl da oltre 40 anni società di development & property management, ha sviluppato e gestito immobili per oltre 5 milioni di metri quadrati. COIMA RES è una società di investimento immobiliare quotata su Borsa Italiana dal 2016. Fra i progetti più importanti, il progetto Porta Nuova a Milano, uno dei più prestigiosi piani di riqualificazione urbana d'Europa.



Torre INPS - 1964

al piano terra, ha permesso l'agevole getto dei muri dei CORE e degli impalcati della torre.

Per quanto concerne gli impalcati di piano, al fine di limitarne lo spessore nella parte fuori terra, questi sono stati realizzati con piastre monolitiche in calcestruzzo tipo C50/60 XC3 S5, armate con barre in acciaio tipo B450C e cavi in trefoli viplati in acciaio armonico ad alta resistenza, tesati successivamente all'iniziale maturazione del getto.

Tale tecnologia costruttiva ha permesso di contenere lo spessore dei solai in soli 28 cm, anche in alcune campate che raggiungono gli 11 metri di luce, permettendo in tal modo di ottimizzare la sezione altimetrica strutturale dell'intero edificio. Lo studio di speciali mix design e additivi presenti nel conglomerato cementizio ha permesso di ottenere delle buone resistenze (>25 Mpa) in soli due giorni dal getto, permettendo quindi di realizzare in breve tempo la post tensione e consentendo all'impalcato di raggiungere celermente l'autoportanza con più rapida rotazione e riutilizzo dei casseri.

Ciò ha permesso di realizzare la cassaforma, l'armatura, il getto e la tesatura dei cavi di ogni singolo impalcato in soli 7 giorni, permettendo quindi, a livello strutturale, di completare un piano della torre alla settimana.

Speciali elementi di collegamento di seconda fase sono stati previsti nell'HIGH RISE e LOW RISE CORE, al fine di poter collegare i getti dei solai con quelli dei muri, realizzati in tempi diversi.

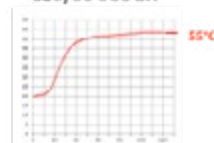
Per quanto riguarda le colonne dei piani fuori terra della torre, al fine di diminuirne l'ingombro sezionele, è stata utilizzata la massima resistenza prevista dalla cogente normativa per i calcestruzzi, adottando la classe di resistenza C75/85 XC3 S5 ed utilizzando barre in acciaio  $\phi 32$  mm di classe B450C.

La progettazione strutturale delle colonne si è rivelata alquanto complessa in relazione alla particolare forma volumetrica della torre. Infatti, l'architettura dell'edificio, sul fronte sud verso Piazza Gae Aulenti, risulta caratterizzata dalla presenza di una facciata con pendenza negativa, ovvero inclinata verso la base della torre. Questa particolare geometria,

### Fondazioni a platea diretta



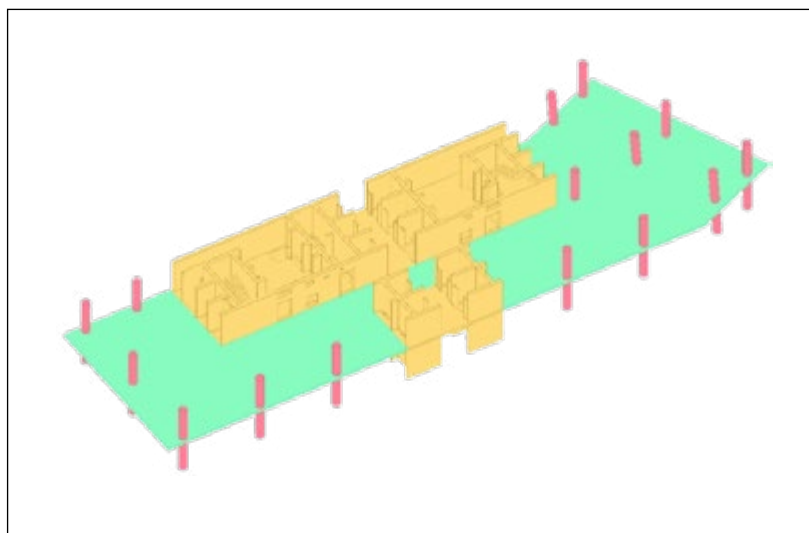
Calcestruzzi  
Fondazionali  
C28/35 SCC LH



Curva adiabatica  
Calcestruzzi a basso  
calore di idratazione



Sistema di  
compartimentazione  
Idraulica tipo «Water  
proofing»  
Vasca Bianca



LOW RISE e HIGH RISE CORE nella pianta dell'edificio

ria, che conferisce alla torre la tipica forma a scheggia, ha reso necessario inclinare le colonne di oltre 6° sul lato sud per oltre 120 m di altezza, valore questo pari ad una volta e mezza l'inclinazione delle Torre di Pisa. Ne consegue che il fuori piombo dell'asse di tali colonne, in prossimità del piano sommitale della torre, registra una deviazione in pianta di oltre 10 m rispetto al piano terreno.

L'asimmetria geometrica e strutturale della facciata sud rispetto a quella nord genera poi uno sbilanciamento

delle componenti di forze orizzontali trasmesse dalle colonne ai nuclei controventanti attraverso i solai di piano, producendo su questi ultimi sollecitazioni flessio-torsionali di tipo permanente. Per tale ragione la geometria sezionele dell'HIGH RISE CORE è stata assimilata a due tubi in parallelo che, consentendo la circuitazione degli sforzi tangenziali, ha notevolmente elevato la rigidità torsionale degli elementi di controvento, permettendo quindi di equilibrare la presenza permanente della sollecitazione torcente.

Particolari analisi sono state condotte in relazione agli spostamenti differenziali orizzontali degli impalcati di piano, indotti dalla suddetta torsione permanente, valutando con attenzione il campo deformativo differito nel tempo, correlato con il comportamento viscoso del calcestruzzo.

Tali studi sono stati oggetto anche di una tesi di Laurea Magistrale presso il corso di ingegneria civile del Politecnico di Milano, svolta nel periodo della progettazione della torre.

Ulteriore caratteristica architettonica della torre è la presenza sulla sua copertura di una struttura in acciaio denominata "Top sail", ovvero vela di sommità, che risulta essere a sbalzo verticale di ben 19 metri rispetto al sottostante ultimo piano. La funzione di tale carpenteria metallica, presente come coronamento sommitale, è quella di realizzare il supporto delle faccia-

te a vela per il mascheramento degli impianti presenti in copertura e di ancorare la macchina predisposta per la manutenzione e lavaggio delle facciate. Il progetto strutturale della torre è stato dapprima redatto nel rispetto delle Norme Tecniche sulle Costruzioni NTC2008 e successivamente riverificato all'approvazione delle nuove NTC2018, entrate definitivamente in vigore nel Marzo del 2018.

Il coordinamento interprogettuale tra le varie discipline (architettura, impianti, etc.) è avvenuto mediante la condivisione di modelli BIM sviluppati con il software Revit di Autodesk, nel rispetto delle normative nazionali ed internazionali per la modellazione informativa.

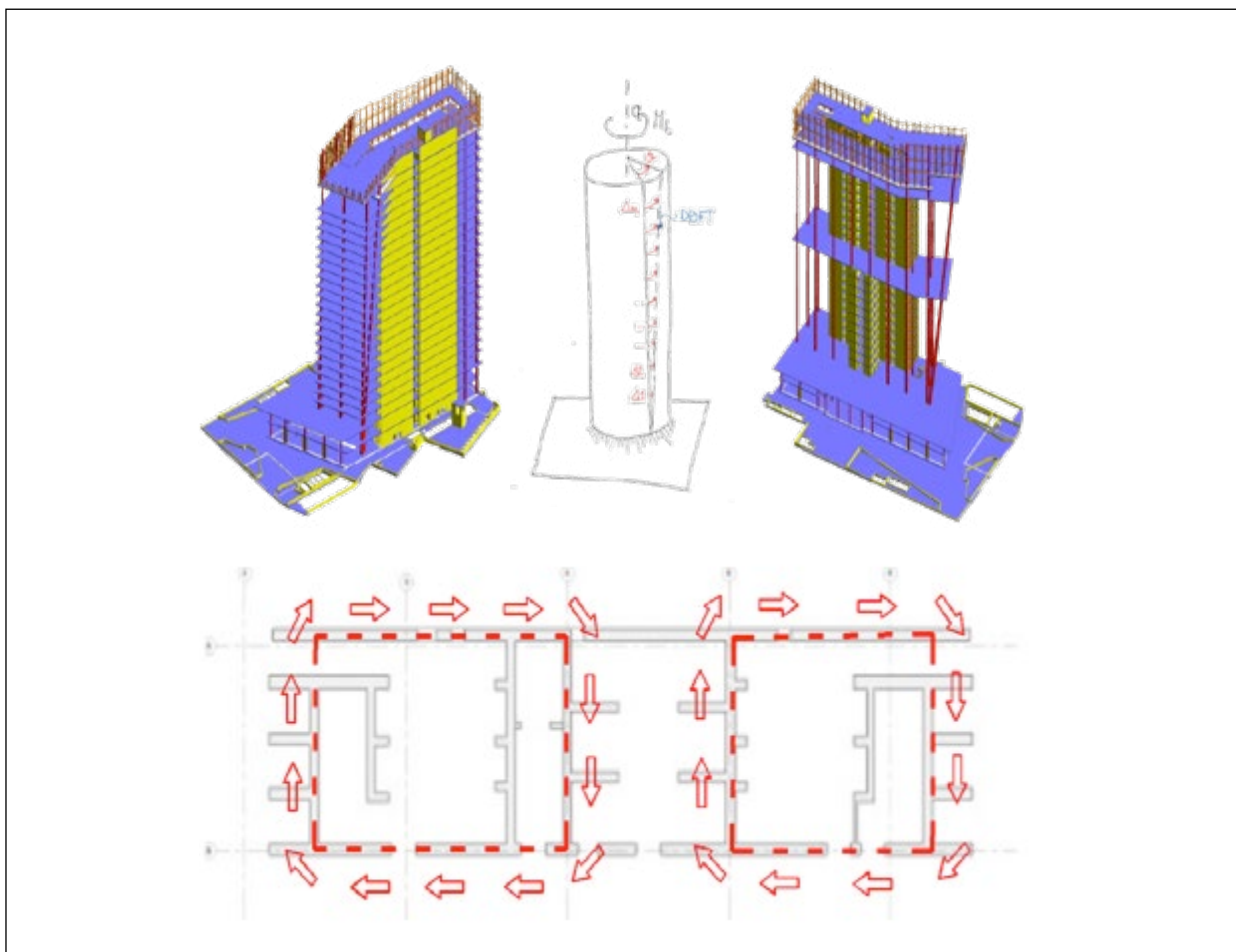
In particolare, per il modello strutturale coordinato, sono stati creati diversi workset di lavoro che hanno permesso a più operatori di lavorare in condivisione temporale; lo stesso è stato poi

interfacciato con i modelli edile ed impiantistico, analogamente sviluppati.

L'adozione della metodologia BIM ha quindi permesso un efficiente controllo tra le diverse discipline progettuali, permettendo un costante e dinamico adattamento del modello strutturale all'evoluzione delle geometrie architettoniche ed alle necessità impiantistiche (quali ad esempio, le forometrie).

Il Building Information Modelling ha poi permesso la redazione tridimensionale di molti dettagli strutturali, quali ad esempio le armature parametriche dei pilastri, dei muri scala, dei solai in armatura lenta e delle fondazioni, consentendo in tal modo di analizzare in dettaglio e risolvere le congestioni di armatura nei nodi strutturali, con la possibilità di modifica automatica in caso di variazione dei casseri.

Lo sviluppo delle geometrie strutturali, attraverso un modello realizzato con



*Il problema della torsione*

tecnologia BIM, ha poi permesso di sviluppare con semplicità il corrispondente modello analitico, utilizzato poi come wireframe, per l'implementazione del modello ad elementi finiti realizzato con il programma di calcolo Midas Gen. Il modello ad elementi finiti così realizzato, una volta validato secondo i principi del capitolo 10 delle NTC2018, ha permesso la determinazione delle sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali primari e secondari nelle diverse combinazioni di carico verticale

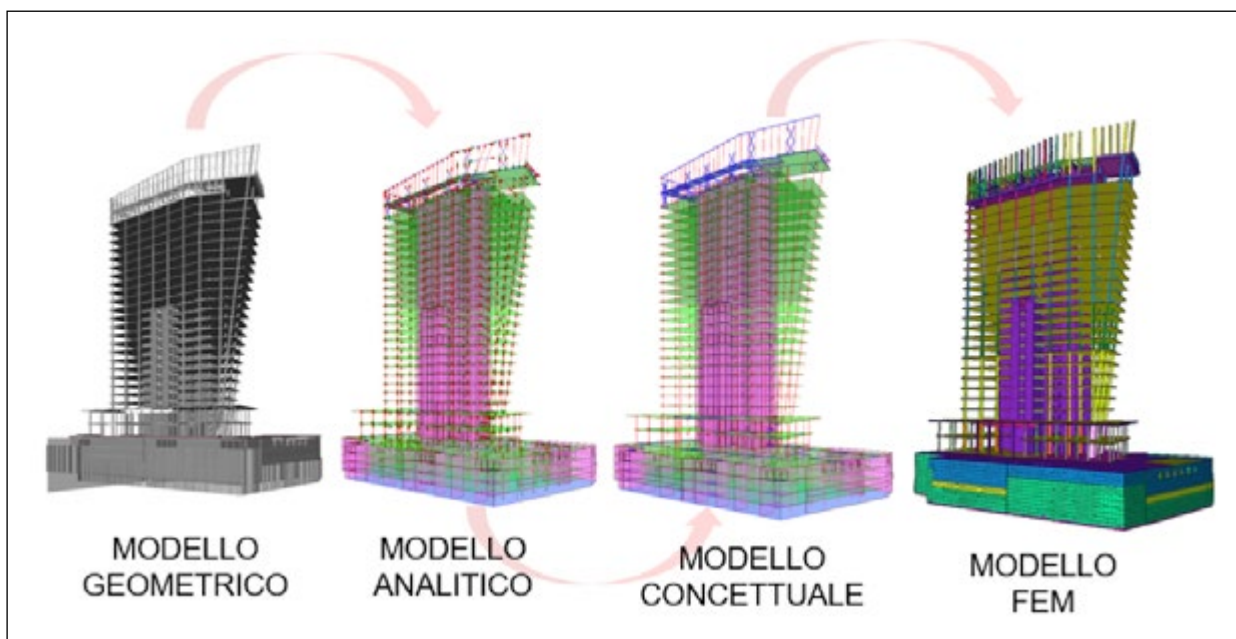
ed orizzontale. Per quanto concerne le sollecitazioni sismiche è stata eseguita un'analisi modale elastica lineare, con l'implementazione dello spettro di progetto definito dalla norma.

In merito all'analisi delle sollecitazioni conseguenti all'azione eolica, è stato eseguito uno studio sperimentale in galleria del vento presso i laboratori della RWDI di Londra. Nel dettaglio è stato dapprima eseguito uno studio della microclimatologia locale del sito, dove sono stati analizzati i dati storici

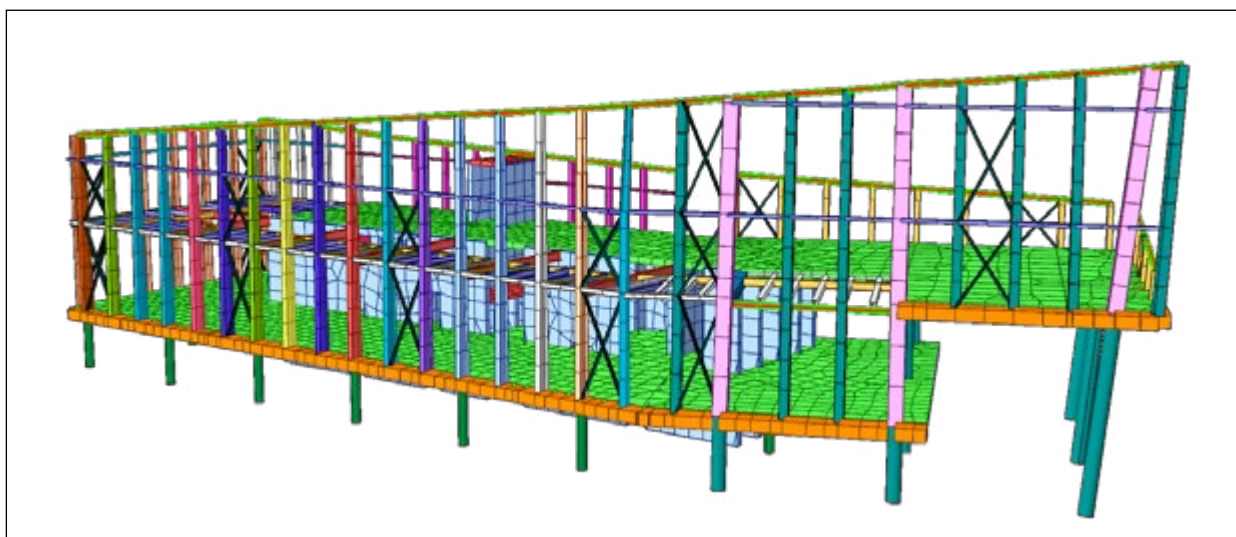
in termini di intensità e direzione del vento. Successivamente è stato realizzato un modello in scala 1:350 della torre, compresi gli edifici di prossimità sul quale, mediante apposite turbine, è stato riprodotto il profilo dello strato limite del vento di progetto, opportunamente scalato con il numero di Reynolds.

In relazione a ciò, le analisi condotte sono state multidisciplinari e hanno permesso l'ottimizzazione di diversi temi progettuali.

In primis, attraverso una bilancia aere-



Flusso di lavoro - EXPORT RVT to MIDAS

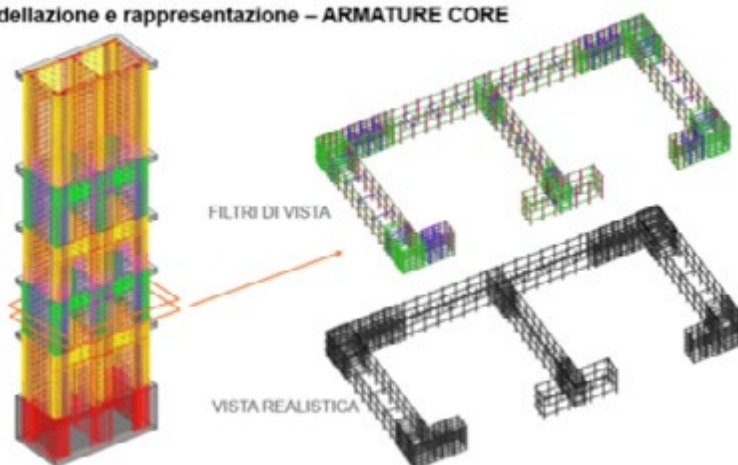


La Top Sail di copertura



odinamica posta alla base del modello rigido, sono stati calcolati gli "structural wind loads", ovvero i carichi di vento di progetto per le combinazioni di resistenza meccanica e di deformazione. In secondo luogo è stato possibile caratterizzare le effettive pressioni agenti sulle facciate della torre, ciò al fine di valutare al meglio anche gli effetti locali dovuti ai fenomeni di turbolenza. Come accade poi per gli edifici alti, è stato eseguito un terzo studio denominato "pedestrian comfort", mirato a determinare la possibile presenza alla base della torre di vortici di vento conseguenti alla discesa sulle pareti laterali della torre di flussi di vento agenti in sommità. Infine, il quarto test denominato "exhaust smoke re-ingestion" è stato eseguito per verificare che i fumi e l'aria espulsa dagli impianti di estrazione non venissero convogliata dai flussi di vento caratteristici nei canali di presa d'aria degli impianti aerulici. La conclusione generale dei lavori è prevista nell'anno 2020 e, con l'apertura degli spazi pubblici presenti alla base della torre, si potrà includere questo nuovo edificio nei percorsi nel nuovo District Center di Porta Nuova.

#### Modellazione e rappresentazione – ARMATURE CORE



#### Modellazione e rappresentazione – ARMATURE PILASTRI

