

EDIFICI ALTI 1 | LA TORRE DIAMANTE A MILANO

di Corrado Colombo

Cantiere



www.ecostampa.it

20

IL NUOVO CANTIERE

20

IL NUOVO CANTIERE

20

IL NUOVO CANTIERE

20

IL NUOVO CANTIERE

20

IL NUOVO CANTIERE

20

IL NUOVO CANTIERE

20

IL NUOVO CANTIERE

20

IL NUOVO CANTIERE

Altissime prestazioni per l'acciaio di nuova generazione

IL CANTIERE

La torre «Diamante», così ribattezzata per la geometria che la caratterizza, è il più alto edificio realizzato in Italia con struttura portante metallica e, con i suoi 140 m di altezza, è al terzo posto tra gli edifici più alti in Italia. Disposto su 30 livelli fuori terra, è costituito da un core centrale interamente in c.a. e da solai a struttura portante in acciaio innovativa: alle travi Ipe/He e ai solai in lamiera grecata si associano colonne in profili Hd in acciaio altoresistenziale S460M, che hanno permesso una realizzazione rapida (1 piano a settimana) e dalla scarsa interferenza del cantiere sulla città. Tra le complessità, è da segnalare la variazione di inclinazione delle facciate che genera, nei livelli interessati, forze orizzontali di notevole intensità, riportate al nucleo in c.a. mediante un sistema reticolare orizzontale estremamente performante.

L'area di Porta Nuova Varesine ha da sempre rappresentato per la città di Milano un punto irrisolto. Sin dagli inizi quando fu adibita al collegamento tra due tratte ferroviarie (Varese e Como) attraverso le due stazioni di Porta Nuova e Porta Tosa - Vittoria, l'area ha attraversato varie funzioni, arrivando nel breve periodo a esser adibita da prima a luogo per l'installazione di gioiote e luna park per poi affrontare anni di abbandono e degrado. La progettazione del masterplan dell'intera area è stata affidata all'architetto italo americano Lee Polisano, dello studio di architettura

- Proprietà:** Hines Italia Sgr spa per conto del Fondo Porta Nuova Varesine
- General contractor:** Ati Cmb Unieco (Project manager ing. Marco Cruciani; capocantiere: geom. Alfio Musemecci; direttore tecnico di cantiere: ing. Fabrizio Ceriani)
- Progettista:** Kohn Pedersen Fox Associates
- Progettazione esecutiva:** Jacobs Italia spa
- Progettazione strutturale:** Arup Italia srl
- Progettazione impiantistica:** Hilson Moran Italia spa
- Progettazione verde e sistemazione esterna:** Land Milano srl
- Direttore lavori opere strutturali:** Mi.Prav srl ing. Angelo Grasselli
- Direttore lavori opere architettoniche:** Mi.Prav srl arch. Giacomo Lorenzo Gastoldi
- Direttore lavori opere impiantistiche:** Mi.Prav srl ing. Roberto Bussolini
- Collaudatore delle opere in calcestruzzo armato e carpenterie metalliche:** ing. Gabriele Cozzaglio
- Responsabile dei lavori:** Mi.Prav arch. Giacomo Lorenzo Gastoldi
- Coordinatore per la sicurezza in fase di progettazione:** Progress srl ing. Giuseppe Amaro
- Coordinatore per la sicurezza in fase di esecuzione:** Progress srl ing. Ugo Di Camillo
- Quantity surveyor:** J&A Consultants
- Strutture e supervisione tecnica:** Arup
- Strutture in acciaio:** Stahlbau Pichler (project manager: Ing. Gianfranco Piccolini; design manager: ing. Manuel Sommariva)
- Produttore acciaio (S460M):** ArcelorMittal
- Casseforme:** Peri

L'IMPRESA

Le strategie di sviluppo di Cmb si concentrano sugli interventi complessi e sulle grandi opere pubbliche. Alle competenze esecutive oggi si associa l'attività di coordinamento tra la progettazione e le successive fasi di gestione, manutenzione ed erogazione di servizi. Per i requisiti tecnici, finanziari e organizzativi posseduti, la Cooperativa ha ottenuto la certificazione di qualità Uni En ISO 9001:2008, l'iscrizione alla seconda categoria dell'Albo dei general contractor e l'attestazione di qualificazione all'esecuzione di lavori pubblici per 23 categorie. **Unieco.** Il 17 luglio 1904, a Campagnola, 15 muratori fondano la «Cooperativa Muratori di Campagnola» che, nel corso degli anni, aggrega altre realtà cooperative, avviate fin dal 1884. Un processo di consolidamento delle esperienze e delle competenze che è continuato fino a oggi e che rimane un tratto distintivo della storia di Unieco. Al nucleo storico di attività nelle costruzioni, nell'immobiliare e nel project financing, si sono aggiunte le Divisioni specializzate nella produzione di laterizi, nei lavori ferroviari e nell'area ambientale. Queste attività diversificate hanno consolidato importanti sinergie operative sul mercato che, grazie al 'gioco di squadra', producono valore e garantiscono l'accesso a diverse aree d'affari.

LA PROGETTAZIONE

Kohn Pedersen Fox Associates (Kpf) è stata fondata il 4 luglio 1976 da A. Eugene Kohn, William Pedersen e Sheldon Fox. La società opera nei settori di architettura, interior design e urbanistica, nonché servizi di pianificazione programmazione e master per i clienti sia nel settore pubblico e privato. Kpf opera nei settori aziendali, dell'ospitalità, residenziale, e culturale. KPF ha sede in varie città del mondo quali New York, Londra, Shanghai, Hong Kong, Seul e Abu Dhabi. L'azienda è guidata da 19 architetti e 16 manager disponendo di oltre 500 membri dello staff provenienti da 43 paesi diversi e parlano oltre 30 lingue.

Lee Polisano è ex Presidente di Kpf, ha ottenuto numerosi riconoscimenti per molte delle sue realizzazioni, quali per esempio il grattacielo Heron a Londra, il Rothermere American Institute presso l'Università di Oxford, la sede di Endesa a Madrid, la Danube House a Praga e il nuovo aeroporto internazionale di Abu Dhabi.

LA PROGETTAZIONE STRUTTURALE

Arup è una società internazionale di progettazione, ingegneria, pianificazione e consulenza specialistica capace di offrire un'ampia gamma di servizi professionali in tutto il mondo. L'approccio, innovativo e integrato, permette al gruppo di proporre soluzioni per ogni tipo di problematica progettuale. Arup attualmente impiega oltre 10mila persone in 86 uffici, ubicati in più di 37 paesi, garantendo simultaneità d'azione su oltre 10mila progetti. In Italia Arup ha sedi a Milano e Roma.



IL PROMOTORE IMMOBILIARE

Fondato nel 1957 a Houston (Texas, Usa), **Hines** rappresenta uno dei principali operatori immobiliari a livello internazionale. Attivo nei settori dell'investimento, dello sviluppo e della gestione immobiliare, Hines attualmente svolge la propria attività in 17 paesi, con oltre 3.700 dipendenti e gestisce un patrimonio stimato circa 25 miliardi di dollari. I progetti di Hines a oggi sono 1.120 di cui 114 sono attualmente in corso, per un totale di oltre 42 milioni di metri quadrati. Hines cura molto gli aspetti relativi all'impatto ambientale e allo sviluppo sostenibile e ha sviluppato o ha in fase di sviluppo a livello mondiale oltre 198 edifici certificati Leed per circa 10 milioni di mq. Nel 2009 Hines è stato inoltre insignito del riconoscimento di Energy Star per oltre 147 edifici per un totale di oltre 7 milioni di mq. In Italia, la multinazionale è presente dal 1999 attraverso Hines Italia srl, creata insieme alla famiglia Catella, che opera nel settore immobiliare tramite la società Coima srl dal 1973. **Manfredi Catella** è amministratore delegato del gruppo che ha sede a Milano. Hines in Italia presenta attualmente una struttura integrata di oltre 60 professionisti dedicati all'investimento e lo sviluppo immobiliare. È specialista sia nell'attività di project management, sia nell'attività di investimento, per conto proprio e per conto di fondi di investimento immobiliari istituzionali.



Manfredi Catella



L'INTERVENTO prevede la realizzazione di 82mila metri quadri di superficie lorda, su cui si sviluppano le tre torri protagoniste.



UNO SPAZIO COMMERCIALE interrato ospiterà un giardino in copertura.

Kohn Pedersen Fox, a seguito di un concorso internazionale. Polisano è stato affiancato dall'architetto **Paolo Caputo e dalla società di ingegneria Jacobs** per la progettazione architettonica esecutiva mentre la progettazione strutturale è stata affidata ad **Arup**.

Il progetto prevede la realizzazione di 82 mila metri quadri di superficie lorda di pavimento a prevalente **destinazione terziario e commerciale**, su cui si sviluppano le tre torri protagoniste dell'intera planimetria. Nella primo lotto è stata prevista la realizzazione di **tre edifici: una torre (torre 1) alta 30 piani fuori terra denominata «Diamante»** per la sua particolare conformazione e **due stecche più basse (torri 2 e 3)**, tutte con destinazione terziaria. Al piano terreno si sviluppa un'area verde realizzata al di sopra della copertura del centro commerciale posto al primo piano interrato. Tutti gli edifici hanno 4 livelli di interrato dove sono alloggiati, oltre ai parcheggi per le vetture, tutti i locali destinati all'alloggiamento degli impianti meccanici ed elettrici a servizio dell'intero complesso.

IL CONTENIMENTO DELLO SCAVO

L'intervento ha previsto la realizzazione di quattro livelli interrati sull'intera area del sito

e si è reso necessario un sistema di contenimento degli scavi costituito da diaframmi in c.a. multitirantati sviluppati lungo l'intero perimetro (300m x 100m) del sito, con spessore da 60 a 120 cm, a seconda delle altezze di contenimento, del numero di ordini di tiranti (variabile in funzione dei vincoli presenti nell'ambiente sotterraneo in adiacenza alle opere di ritegno e dei vincoli superficiali che insistono sull'area). In particolare la presenza della **galleria del Passante Ferroviario**, il cui tracciato corre lungo il confine nordest del sito sino a raggiungere una distanza minima dalle paratie di circa 4.5 m ha comportato uno studio approfondito di come poter intervenire. Altre **interferenze** sono rappresentate dal **canale Martesana** che scorre lungo il confine nordovest all'interno di uno scatolare tombato e **vari edifici adiacenti** il sito lungo il confine sudovest, dotati in alcuni casi, di livelli interrati. Inoltre, la presenza del Passante Ferroviario ha richiesto delle **specifiche analisi agli elementi finiti** in cui è stata studiata l'interferenza tra l'opera esistente e le nuove strutture **modellando le sequenze di costruzione previste**. Arup ha assistito la committenza in fase di gara e ha prescritto l'esecuzione di campagne di **monitoraggio ge-**

otecnico per analizzare il comportamento in scala reale delle opere e le interazioni con le strutture e le infrastrutture adiacenti.

IL SISTEMA FONDAZIONALE

Le tipiche condizioni del sottosuolo milanese, caratterizzate dalla presenza di materiale granulare grossolano quali sabbia e ghiaia, ha influenzato la scelta delle fondazioni degli edifici esistenti; in aggiunta a questo, il piano di sedime si trova a circa 17 m sotto la quota del piano strada. La torre Diamante è composta da 30 piani fuori terra, poggia su fondazioni superficiali costituite **da platee in c.a.** al fine di limitare la pressione sul terreno in corrispondenza del nucleo di stabilità e di limitare l'effetto dei cedimenti indotti dall'edificio sulla galleria del Passante Ferroviario, ubicata in pianta a circa 10 m dall'impronta dell'edificio. La platea di fondazione in calcestruzzo armato ha spessore 220 cm (percentuale di armatura pari a 250 kg/m³; classe di resistenza del calcestruzzo C32/40; classe di consistenza S4; classe di esposizione XC4). L'utilizzo dell'acciaio e della tecnologia mista acciaio calcestruzzo impiegata per edificio ha permesso di ottenere una diminuzione del peso strutturale.

FONDAZIONI | AREA «OCCUPATA»



SI TRATTA DI UN'AREA STRATEGICA per la città di Milano in fase di riqualificazione. Gli spazi di cantiere sono solo quelli lasciati liberi dall'impronta degli edifici. Le fondazioni sono state realizzate in tempi diversi per permettere anche alle varie «tecnologie» di muoversi all'interno dell'area di cantiere occupata per la parte interrata. A destra: il cassone di trasferimento delle forze posizionato al piano interrato, interamente ricoperto da pioli per ottimizzare l'integrazione con le opere in cls armato.

22
Ottobre 2012 N. 7

IL NUOVO CANTIERE

www.ecostampa.it

082687

I FIN WALLS

Ai livelli interrati della Torre Diamante una serie di muri in c.a. di irrigidimento, denominati **fin walls**, attraversano il nucleo in c.a. del fabbricato in senso trasversale.

I fin walls costituiscono un'estensione della sezione di impronta dei muri, che compongono il nucleo in c.a. Questi elementi strutturali hanno lo scopo di trasferire il carico proveniente dai muri del nucleo in calcestruzzo alla platea di fondazione, su una superficie più ampia fornendo un irrigidimento del sistema fondazionale. **L'utilizzo di una tecnologia mista acciaio-calcestruzzo con colonne in acciaio, solette composte e nucleo in c.a., più leggera rispetto a una struttura completamente in calcestruzzo, e l'introduzione dei muri di irrigidimento ai livelli interrati, ha consentito di evitare l'impiego di fondazioni profonde, riducendo tempi e i costi di realizzazione.**

GLI ORIZZONTAMENTI INTERRATI

Sono costituiti da una **piastra bidirezionale in calcestruzzo armato** (classe di resistenza C32/40), con spessori diversi a seconda della destinazione d'uso degli ambienti; si va dalle autorimesse per i livelli da B4 a B2 alle aree commerciali a livello B1 progettate nell'area dell'edificio a copertura mista acciaio-calcestruzzo, denominato general interest, che ospita una galleria commerciale.

Lo spessore delle solette è variabile tra 25 e 35 cm per i livelli B3 e B2; 40 cm per il livello B1 e 50 cm per il livello strada B0. In queste solette piene si ha incidenza di armatura compresa intorno ai 200 kg/m³. Le solette ai livelli interrati (B1-B2-B3) sono state progettate e realizzate senza giunti. Per analizzare degli sforzi relativi alle deformazioni termiche che si sviluppano nelle piastre in calcestruzzo a causa della spinta contro le strutture in calcestruzzo (nuclei e diaframmi) ai livelli interrati, è stato effettuato uno studio agli elementi finiti modellando le solette dei livelli interrati. L'armatura attorno ai nuclei degli edifici è stata disposta anche considerando gli effetti del trasferimento del taglio come azione membranale sui solai. In corrispondenza della **rampa di accesso** posta tra gli edifici 1 e 2 sono state progettate e realizzate **tre travi a cassone in acciaio** per trasferire alcune colonne dell'edificio 1 (10 livelli con struttura in calcestruzzo armato) in falso sulla rampa.

LA STRUTTURA

L'edificio torre è costituito da 30 piani fuori terra con una base misurabile in 30x50 m e da 4 livelli interrati con un'altezza massima di 140 m. Il layout interno è caratterizzato dal **nucleo centrale**, che contiene sostanzial-

SOSTENIBILITÀ | MATERIALI E TECNOLOGIE

LA CERTIFICAZIONE LEED GOLD

Uno degli obiettivi chiave del progetto Porta Nuova è di ridurre drasticamente il consumo di energia da parte degli edifici: tutti sono stati progettati e dotati dei migliori sistemi di approvvigionamento energetico basati sull'impiego delle fonti rinnovabili.

Grazie a queste caratteristiche la **Torre Diamante** e gli edifici gemelli otterranno la certificazione **Leed Gold**, uno dei più alti livelli riconosciuti dal Green Building Council agli edifici ambientalmente sostenibili, sia dal punto di vista energetico che dal punto di vista del consumo di tutte le risorse coinvolte nel processo di realizzazione. **Deerns Italia** è stata consulente per la certificazione Leed durante le fasi di progettazione e costruzione.

IL CALCESTRUZZO ARMATO

Dopo l'esperienza maturata nel cantiere dell'area Garibaldi, **Holcim** ha proposto anche per l'area Varesine soluzioni ad hoc sostenibili e innovative: **calcestruzzo ad alta resistenza**, fino a C70/85, in grado di mantenere la resistenza caratteristica, omogeneità e costanza per garantire la lavorabilità e la pompabilità ad alta quota (fino a 160 mt di altezza) e **calcestruzzo a bassissimo calore d'idratazione per i getti massivi delle fondazioni con alti spessori**, per le quali sussistono problemi legati allo sviluppo delle alte temperature con conseguente rischio di fessurazioni. Anche in questo caso la notevole altezza degli edifici ha infatti richiesto la realizzazione di platee di fondazione di spessore considerevole: circa 250/300 cm.

Oltre alla sostenibilità del cemento utilizzato nei mix design, che in quanto pozzolanico, consente minor dosaggio di clinker e di conseguenza minori emissioni di CO₂, i calcestruzzi sono stati composti da un'additivazione con filler a elevate caratteristiche di pozzolanicità studiati ad hoc per migliorare le prestazioni e per risultare maggiormente sostenibili, perché tali filler sono prodotti certificati appartenenti alla categoria Leed 100% preconsumer.

Infatti l'intera fornitura è gestita con **impianti tecnicamente e ambientalmente all'avanguardia** (Porta Nuova e Segrate) che hanno ottenuto, per primi in Italia, la convalida da parte di **lcmq - in conformità alla norma internazionale Uni En Iso 140121:2002 - delle Asserzioni ambientali auto-dichiarate, relative al contenuto del materiale riciclato.**

LE CASSEFORME

I tre solai interrati e il solaio del piano terra del primo lotto sono tutti realizzati in opera a getto pieno per una superficie pari a 17mila mq ciascuno e un interpiano compreso tra i 290 e i 600 cm.

Per la loro realizzazione è stata utilizzata la **cassaforma modulare per solai Peri Skydeck** che in sei mesi ha permesso alle maestranze di completare tutti i getti e arrivare al fuori terra.

Per la realizzazione del core in c.a. della Torre «Diamante» è stata impiegata la cassaforma a telaio per pareti Peri Trio, sostenuta sul perimetro esterno dal sistema di ripresa con guida Rcs-c che, grazie al minimo ingombro inferiore, consente la contemporanea realizzazione della carpenteria metallica dei piani. Per questo sono stati forniti moduli Rcs privi di passerelle inferiori e con recupero dei dispositivi di ancoraggio dal solaio sottostante. Internamente il sistema è appoggiato su piattaforme di ripresa Br movimentate attraverso l'utilizzo della gru rampante su Acs. Il core è stato suddiviso in 3 blocchi indipendenti con

ciclo produttivo di 5 giorni lavorativi. È stato inoltre richiesto l'accesso al sistema rampante dall'interno del nucleo per non interferire con le lavorazioni della carpenteria metallica esterna.

Per soddisfare questa richiesta particolare, è stato necessario predisporre due piattaforme Rcs-P interne con scale Peri Up appese.

La scelta da parte dell'impresa di avere una gru dedicata alla realizzazione del nucleo in c.a. (con rotazione della cassaforma interna) è stata risolta prevedendo di sollevare una seconda gru rampante con il sistema a ripresa auto-sollevante Peri Acs. Per le operazioni di getto del calcestruzzo, solo per la torre, ci si è avvalsi di un braccio collegato ad una piattaforma auto-sollevante Acs.

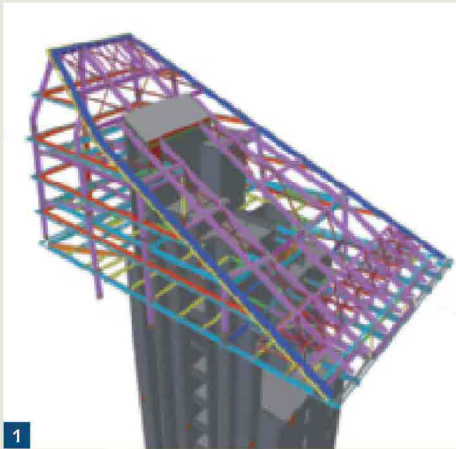
L'ACCIAIO

I prodotti laminati **Histar di ArcelorMittal**, acronimo di «High strength ArcelorMittal» sono profili costituiti da una speciale tipologia di acciaio laminato a grano fine con elevata resistenza allo snermamento e migliorata saldabilità. Confrontati con gli acciai tradizionali, i profili Histar presentano a parità di carichi agenti, caratteristiche meccaniche tali da consentire la **riduzione degli ingombri delle sezioni e quindi il peso dell'intera struttura che, unitamente a una estrema semplicità nelle operazioni d'assemblaggio in officina e di messa in opera, presenta dei costi di realizzazione contenuti.** I principali campi di applicazione della tecnologia Histar sono nella realizzazione di edifici multipiano, strutture di grandi luci come «trusses» e viadotti, strutture composte acciaio-calcestruzzo, strutture con pilastri sottoposti a forte compressione, costruzioni in zona sismica e strutture offshore. ArcelorMittal non solo fornisce l'acciaio ma attraverso la sua rete di tecnici professionisti mette a disposizione la propria consulenza per gestire al meglio il prodotto dalla progettazione alla messa in opera sino ad arrivare a fornire, quando richiesto, una personalizzazione con specifiche lavorazioni quali calandatura, cianfrinatura, ed eventualmente rivestimenti superficiali.

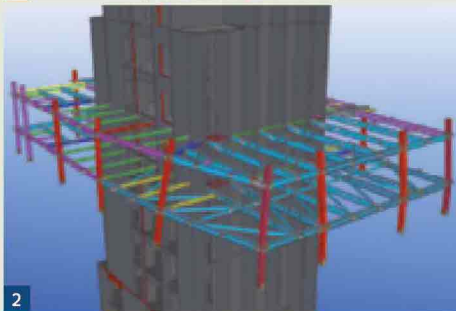
GLI IMPIANTI

Nella cantierizzazione degli impianti, **Alpiq InTec Milano spa** è stata principalmente coinvolta nel mettere a sistema tutte le competenze necessarie per verificare le soluzioni progettuali adottate, selezionare fornitori e prodotti nel rispetto delle prescrizioni derivanti dal raggiungimento degli obiettivi prefissati dal progetto. Per poter rientrare all'interno della certificazione **Leed-Cs classe Gold** sono stati analizzati vari parametri tra i quali: energia e atmosfera (commissionamento dei principali impianti dell'edificio; prestazioni energetiche minime; riduzione dei cloro fluoro carburi (Cfc) negli impianti di condizionamento e riscaldamento); qualità dell'ambiente interno (prestazioni minime della qualità dell'aria interna, efficienza risorse idriche; efficiente progettazione paesaggistica per le risorse idriche, riduzione del 50%; riduzione dei consumi idrici, riduzione del 20%; riduzione dei consumi idrici, riduzione del 30%); qualità dell'ambiente interno (monitoraggio dell'aria rilasciata all'esterno; aumento della ventilazione; costruzione di un sistema di controllo della qualità dell'aria interna; materiali a bassa emissività, adesivi e collanti; confort termico, conformità con normative Ashrae 55-2004; illuminazione naturale e vista, luce naturale 75% degli spazi; illuminazione naturale e vista, vista per il 90% degli spazi).

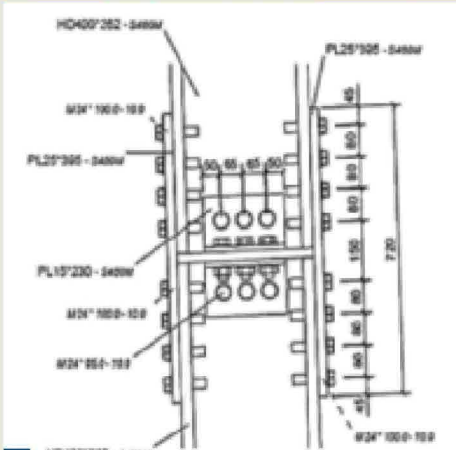
LA STRUTTURA | C.A. E ACCIAIO



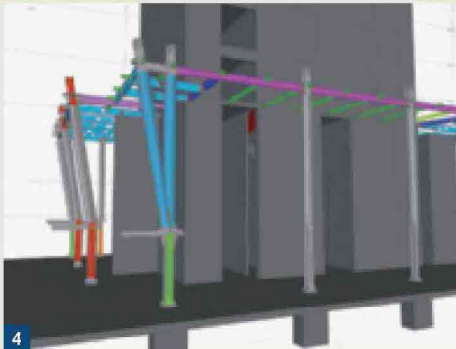
1



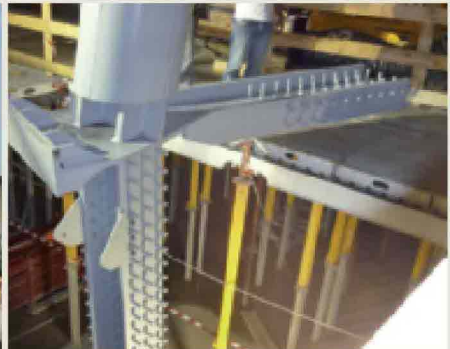
2



3



4





© Per Gmbh

www.ecostampa.it

1. LA COPERTURA INCLINATA (da livello 28° a 30°+) della torre. È caratterizzata da una forte inclinazione. Anch'essa è stata attentamente studiata con una modellazione parametrica in fase di progettazione.

2. GLI IMPALCATI dei vari piani sono stati realizzati in carpenteria metallica. Dal modello impiegato nella progettazione alla cantierizzazione le differenze sono nulle. In corrispondenza del 9° livello sono stati previsti nel solaio dei sistemi di contropinta delle forze delle facciate dovute al cambio d'inclinazione.

3. COLONNE IN ACCIAIO E CONNESSIONI. Sono state

realizzate 233 colonne con profilo HD400 / HD360 S460M, con giunzioni bullonate a contatto per il collegamento colonna-colonna ogni due livelli ai piani tipici (4,1 m del piano tipico).

4. LE COLONNE DI BASE DELLA TORRE. Le colonne composte trasferiscono i carichi gravitazionali dalla sovrastruttura in acciaio alla colonne in calcestruzzo dei livelli interrati. Sono caratterizzate da una geometria inclinata.

5. DISPOSTA SU 30 LIVELLI fuori terra, la torre è costituita da un core centrale interamente in c.a. e da solai a struttura portante in

acciaio innovativa: alle travi Ipe/He e ai solai in lamiera grecata si associano colonne in profili Hd in acciaio altoresistenziale S460M, che hanno permesso una realizzazione rapida (1 piano a settimana) e dalla scarsa interferenza del cantiere sulla città.

6. TRA LE COMPLESSITÀ, è da segnalare la variazione di inclinazione delle facciate che genera, nei livelli interessati, forze orizzontali di notevole intensità, riportate al nucleo in c.a. mediante un sistema reticolare orizzontale estremamente performante.

Disegni Markus Primisser
- Stahlbau Pichler da Tecla

LA CARATTERISTICHE

30 piani

4 livelli interrati

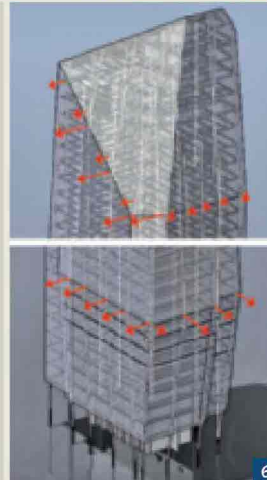
130 m dal piano terra

Sistema resistente ai carichi orizzontali: nucleo in c.a.

Sistema resistente ai carichi verticali: solette miste acciaio/ c.a e colonne in acciaio S460M

Colonne composte al primo livello interrato, colonne cassonate in acciaio al piano terra

Cambi di inclinazione ai livelli 9 e 22



Ottobre 2012 N. 7

mente tutti i servizi quali ascensori impianti elettrici scale e servizi, attorno al quale si sviluppa lo spazio a open space destinato all'accoglimento di funzioni terziarie. Ribattezzata Diamante per la geometria complessiva che la caratterizza, **la torre è la più alta costruzione in Italia sinora realizzata con struttura portante metallica**, realizzata da **Stahlbau Pichler**, dove sono state cantierizzate 2.600 tonnellate di acciaio impiegato e 26mila mq di solai in lamiera grecata collaborante.

Le colonne poste a perimetrazione dei solai metallici sono state realizzate negli impianti di Bolzano e portate in cantiere a Milano, con diversi tipi di inclinazione a seconda degli angoli proposti dal progetto architettonico, gli elementi portanti orizzontali sono realizzati interamente in acciaio mediante travi Ipe/He in acciaio di classe S355 piolate, collaboranti con solette di spessore tra i 150 e i 200 mm gettate su lamiera grecata.

Anche **le colonne** sono realizzate interamente in acciaio, ma di una classe di resistenza superiore; in particolare, sono stati utilizzati profili Hd della serie 400 e 360 in acciaio S460M fresati alle estremità per garantire, in perfetta planarità, il contatto diretto tra gli

elementi in corrispondenza delle connessioni flangiate a contatto con piatto interposto e successivamente giuntati mediante connessioni bullonate ad attrito.

Gli impalcati metallici, realizzati da Stahlbau Pichler, vengono sorretti attraverso un'orditura principale di travi Ipe500 e Hea500 e travi secondarie con geometrie comprese tra Hea200 e Ipe500 a seconda dei differenti punti degli impalcati. **Il nucleo in c.a.** della torre diamante è costituito da 3 elementi scatolari verticali, collegati tra loro mediante travi di accoppiamento in corrispondenza di ogni impalcato. Ogni singolo elemento scatolare è paragonabile a una mensola incastrata alla base, resa solidale alle altre mediante le solette di piano.

Le travi di accoppiamento, collegando i muri dei nuclei e lavorando per flessione e taglio, fanno in modo che i tre nuclei scatolari in calcestruzzo lavorino insieme nella direzione del loro allineamento realizzando il sistema di stabilità laterale. Le travi di accoppiamento si oppongono allo scorrimento verticale relativo tra i tre elementi scatolari a mensola, assorbendo il taglio agente.

Il calcestruzzo con cui sono state realizzate tali travi è di grado uguale a quello dei muri del

nucleo in elevazione C45/55 dai livelli interrati fino al livello 10 e C32/40 dai livelli sopra il 10 fino in sommità. **Dal punto di vista costruttivo il getto dei tre corpi che realizzano il nucleo dell'edificio è avvenuto in elevazioni per fasi successive.** Per consentire lo sviluppo differito dei tre corpi, le travi di accoppiamento sono state interrotte in mezzera e gettate in due momenti differenti; le porzioni di trave sono state rese solidali tra loro mediante accoppiatori opportunamente predisposti per riprendere le barre di armatura.

Lungo due orizzontamenti, nello specifico al 9° e al 22°, la facciata grava sugli orizzontamenti attraverso forze orizzontali dell'ordine delle centinaia di tonnellate che vanno a scaricare direttamente la loro azione sugli orizzontamenti. Il sistema di trasferimento delle forze è composto da profili a sezione aperta (che lavorano a trazione e flessione) e da tubi in acciaio (che lavorano a compressione). Una volta raggiunto il nucleo in calcestruzzo tali forze sono trasferite al core attraverso **piatti in acciaio piolati annegati nelle pareti.**

Questi sono stati realizzati attraverso l'accoppiamento di fazzoletti 500x50 mm per le ali 400x30 mm per l'anima. Le travi così composte

I CORPI GEMELLI | INVOLUCRO TRASPARENTE



I DUE EDIFICI hanno dimensioni in pianta 70x20 m per 9 piani fuori terra: i primi 8 impalcati sono costituiti da pilastri circolari e solette bidirezionali in calcestruzzo armato, mentre l'ultimo livello è costituito da una struttura in acciaio di copertura che presenta una geometria piuttosto complessa.

sono state ancorate al nucleo grazie all'utilizzo di elementi piolati annegati nel nucleo costituiti da coppie di piatti 340x40 mm.

Tutta la bulloneria della torre appartiene alla classe 10.9 Hv zincata a caldo e serrata ad attrito con avvitatori elettronici a controllo di coppia. Le saldature degli elementi al nucleo sono state realizzate quasi interamente a filo (Mag) e in minima parte con elettrodo rivestito. A maggiore irrigidimento dei solai sono stati inseriti dei **controventi** realizzati attraverso l'impiego di tubi metallici Chs 323x25 mm e 244x20 debitamente tagliati alle estremità per l'alloggiamento dei fazzoletti che giungono sino al centro di unione delle travature principali.

Per le **connessioni** degli elementi orizzontali e verticali si è scelta una soluzione che ha permesso di raggiungere un'elevata velocità di montaggio arrivando a realizzare anche un singolo piano completo in una sola settimana lavorativa: gli unici elementi saldati in opera hanno riguardato i tronchetti collegati al nucleo, mentre tutti i profili principali e secondari, a parte rare eccezioni, sono stati collegati mediante coprigiunti bullonati d'anima e d'ala. Per la realizzazione delle colonne, Stahlbau Pi-

chler ha impiegato 700 ton (2,54 km) di acciaio con un numero complessivo di connessioni tra colonna e colonna pari a 250, complessivamente sono stati serrati 7.200 bulloni. Le travi realizzati con profili He, Ipe e sezioni composte sono state impiegate 1322 ton di acciaio (13,52 km) di travi, varate complessivamente 1.800 travi con ben 3.600 connessioni e 28.800 serraggi di bulloni travi-colonna. La struttura in calcestruzzo armato passa ad acciaio al piano primo interrato, con colonne in profilati saldati che vengono annegate poi all'interno del calcestruzzo. Le colonne sono quasi tutte bi-piano con altezze notevoli.

LA MODELLAZIONE

Il modello a elementi finiti della struttura della torre diamante è stato realizzato per analizzare il sistema di stabilità laterale mezzo del software «Oasys Gsa» e verificare la discesa dei carichi nelle colonne in acciaio dell'edificio. Il modello 3D strutturale agli elementi finiti è stato creato per analizzare e progettare le pareti in calcestruzzo armato costituenti il nucleo che fornisce stabilità orizzontale all'edificio.

In particolare si è valutata la risposta meccanica del nucleo in termini di spostamento

globale e accelerazione massima dell'ultimo piano allo stato limite di esercizio sotto carico da vento e di interpiano sotto carico sismico. Inoltre l'elaborazione modello grafico 3D ha permesso la gestione completa delle geometrie complesse e il controllo dei criteri di convergenza degli assi strutturali dei profili, definiti a livello preliminare. Il modello è stato utilizzato per l'estrazione puntuale di tutte le informazioni necessarie al progetto esecutivo.

LE FACCIATE

Le facciate della torre, realizzate da **Coopsete-Teleya Divisione involucri architettonici**, si compongono attraverso un sistema di cellule indipendenti che ricopre l'intera superficie. Lungo i vari fronti sono stati posizionati dei frangisole fissi per valorizzare al meglio l'apporto dell'energia solare all'interno degli ambienti. La cellula tipo sviluppa una dimensione di 1,5x4,1 m in altezza. Il sistema di facciata è costituito da una struttura portante sulla quale sono fissati telai vetrati che, in caso di sostituzione, consentono l'esecuzione delle sigillature strutturali dei vetri nell'ambiente controllato d'officina. Il **modulo** comprende dei profili estrusi in alluminio a taglio termico,

L'Edificio 1, analogamente al suo gemello edificio 2, ha dimensioni in pianta 70 x 20 m per 9 piani fuori terra: i primi 8 impalcati sono costituiti da pilastri circolari e solette bidirezionali in calcestruzzo armato, mentre l'ultimo livello è costituito da una struttura in acciaio di copertura che presenta una geometria piuttosto complessa.

L'**involucro verticale** dell'edificio è completamente trasparente con una lettura di facciata che richiama quella della torre diamante.

Il **calcestruzzo** utilizzato per i **pilastri circolari** dell'edificio (classe di resistenza C70/85 per i primi quattro impalcati) ha consentito la realizzazione di pilastri particolarmente snelli; mentre, per i livelli più alti, si è utilizzata una classe C45/55, visti i minori carichi gravitazionali agenti sui pilastri. L'elevata differenza classe di resistenza dei pilastri ai livelli bassi (classe C70/85) con la soletta bidirezionale (classe C32/40) ha comportato la necessità di risolvere il dettaglio di interfaccia gettando una porzione di soletta in corrispondenza dell'intersezione con il pilastro di classe C70/85 con lo stesso calcestruzzo alto resistenziale in accordo alle indicazioni riportate nella Acì 318. L'ultimo piano degli edifici, realizzato da Stahlbau Pichler attraverso una struttura in carpenteria metallica, è realizzata attraverso dorsali principali composte da profili Ipe 500 mentre quelle secondarie da tubi Chs con geometrie da 139.7 mm e profili Unp 140. Le colonne a sostegno della carpenteria metallica rientrano nella classe Heb 200.

Per contrastare le forze orizzontali sono stati utilizzati controventi verticali in piatti 150x15 mm e in alcune parti la struttura è ancorata ai nuclei in c.a. della struttura sottostante, l'acciaio impiegato è di classe S355JR. Il piano terra ha destinazione commerciale,

i restanti piani hanno una destinazione a terziario, gli ultimi due piani sono adibiti a spazi tecnici per l'alloggiamento degli impianti.

LE FACCIATE

Analogamente a quelle della torre, le facciate dei corpi gemelli, anch'esse realizzate da Coopsete-Teleya Divisione involucri architettonici, sono di tipo a cellule indipendenti a giunto aperto con pannelli in metallo a vista sul lato nord, con profili orizzontali estrusi in alluminio lungo i prospetti di ovest e parzialmente di nord e sud. Il sistema di facciata comprende: gli elementi di telaio portante a facciata continua, parti apribili, pannelli, lamelle, griglie, pannelli metallici esterni e cornici di completamento, lamiere di chiusura e di raccordo, staffaggi, punti di ancoraggio del sistema di pulizia e manutenzione (navicella), l'integrazione in facciata di insegne luminose e corpi illuminanti esterni e ogni altro elemento per rendere la facciata stessa completa e posata in opera. I moduli di facciata hanno un tipico di 1500 o 3000 mm di larghezza per 4100 mm in altezza, il modulo comprende dei profili estrusi in alluminio a taglio termico, parti apribili verso l'esterno (a sporgere) e verso l'interno ad anta battente con telaio non in vista. Il sistema a cellule è di tipo a giunto aperto con equalizzazione delle pressioni per mezzo di cavità poste dietro ai pannelli e con un drenaggio delle acque a due linee di difesa. Lungo il fronte principale nord sono stati installati dei particolari **frangisole** verticali che con il loro disegno geometrico caratterizzano la facciata andando a realizzare un andamento sinuoso che di fatto movimentata l'aspetto dell'edificio. Gli estrusi di alluminio appartengono alla lega Uni En Aw 6060-T5, mentre le lamiere di alluminio per esterni rientrano nella codifica Uni En Aw 5005-H14.



L'**INVOLUCRO** verticale dell'edificio è completamente trasparente con una lettura di facciata che richiama quella della torre diamante.

LE FACCIATE | GEOMETRIA IRREGOLARE



LA TORRE DIAMANTE è caratterizzata da una facciata strutturale per la quale sono stati richiesti particolari accorgimenti strutturali per rispondere alle spinte delle specchiature inclinate.

IL NETWORK PER LO SVILUPPO DELL'ACCIAIO

Fondazione Promozione Acciaio nasce nel 2005 per volontà dei maggiori produttori d'acciaio italiani ed europei e delle principali realtà della filiera e raggruppa un network di aziende che abbraccia tutta la filiera dell'acciaio e delle costruzioni. I Soci tra i quali figurano importanti protagonisti di rilievo nazionale e internazionale, sono acciaierie italiane ed europee, aziende di trasformazione e distribuzione, imprese di costruzione, associazioni di categoria e studi di progettazione. La Fondazione si avvale di una rete di esperti coinvolti nelle Commissioni tecniche: «Fuoco», «Sisma», «Sostenibilità» e «Norme». Attraverso un'incisiva azione di rinnovamento culturale, diffondendo, promuovendo e valorizzando gli aspetti

progettuali e tecnologici-costruttivi delle soluzioni in acciaio, Fpa è in grado di comunicare il valore aggiunto che l'architettura in acciaio sa dare, forte della convinzione che l'acciaio possa allargare le sue prospettive di impiego nelle costruzioni e nelle infrastrutture. La mission di Fondazione Promozione Acciaio è mettere al servizio degli operatori del settore delle costruzioni gli importanti investimenti dei Soci e le competenze tecnico/scientifiche delle Commissioni Tecniche sviluppando un'azione costante di comunicazione e formazione sulle possibilità e i vantaggi delle soluzioni in acciaio, sostenendo chi è protagonista della nascita di una costruzione in carpenteria metallica: progettisti architetto-

nici e strutturali, committenti pubblici e privati e costruttori. Le attività svolte da Fondazione Promozione Acciaio sono iniziative culturali e di insegnamento in collaborazione con gli ordini professionali e le università, organizzazione di convegni e corsi formativi, pubblicazione di libri e periodici tecnici, aggiornamento di un ricco portale www.promozioneacciaio.it a supporto del mercato degli utilizzatori oltre all'organizzazione di visite ai cantieri di edifici in acciaio per instaurare un dialogo aperto tra progettazione e realizzazione. Fondamentale l'impegno nel monitorare, interpretare e semplificare il quadro legislativo, fornendo assistenza tecnica, scientifica e normativa a Soci e operatori di settore.

pannelli in alluminio, pinne decorative esterne in vetro, frangisole orizzontali e verticali di alluminio punti di ancoraggio del sistema di pulizia e manutenzione (navicella) e tutti gli elementi di completamento.

Per quanto concerne il **contenimento energetico**, tutti i profili rientrano all'interno delle normative dettate dalla Regione Lombardia con un range delle specchiature vetrate da 1,73 w/m²k sino a 1,32 w/m²k mentre le specchiature spandrel raggiungono valori da 0,68 w/m²k sino a 0,61 w/m²k.

L'IMPIANTISTICA

Progettato e realizzato da Deerns Italia, il sistema impiantistico dell'intero lotto è articolato su più unità funzionali tra loro indipendenti, a servizio di aree tra loro omogenee, in modo da assicurare flessibilità di funzionamento, capacità di adeguamento ai carichi termici e affidabilità di esercizio.

È stato previsto l'uso di sistemi centralizzati ad alta efficienza per la produzione di caldo, freddo e acqua calda sanitaria; l'impiego esteso dell'acqua di falda, di sistemi a pompa di calore ad alto rendimento e di pannelli fotovoltaici. Tale strategia ha consentito di ottenere risparmi fino al 50% in riscaldamento e fino al 30% in raffrescamento se comparati a sistemi tradizionali (caldaia e gruppi frigo con uso di torri evaporative).

IL GENERAL INTEREST

Al piano -1 dell'area centrale dell'intero lotto è stato realizzato uno spazio commerciale al di sopra del quale è allestito un nuovo spazio a verde per la città. La struttura ha sviluppo rettangolare in pianta ed è costituita da pilastri in acciaio, da travi in acciaio (classe S355) e da una soletta in calcestruzzo (classe C32/40) collaborante con le travi in acciaio.

Progettata dallo studio Land di Milano congiuntamente alle sistemazioni esterne dell'intero lotto, la soletta di copertura è rivestita attraverso un manto verde piantumato.

Le superfici inclinate dispongono di un sistema di ancoraggio sotterraneo costituito da setti sfalsati in calcestruzzo che trattengono dallo scivolamento gli strati inferiori della stratigrafia e al contempo permettono all'acqua di scorrere tra un setto e l'altro senza dividere la vasca di terra in settori da drenare singolarmente.

© RIPRODUZIONE RISERVATA

Materiali extra

• Intervista a Mauro Scarpaccio, Fondazione Promozione acciaio, resp. promozione tecnica & marketing • Foto

<http://bit.ly/torre-diam>



IL VALORE DELLE COMPETENZE



Ing. Gianfranco Piccolin
responsabile di progetto
Stahlbau Pichler

«Per le connessioni degli elementi orizzontali e verticali

tutti i profili principali e secondari sono stati collegati con coprigiunti bullonati d'anima e d'ala, saldando in opera solo i «tronchetti» collegati al nucleo, realizzando un piano completo in una sola settimana lavorativa».



Ing. Andrea Cattani
project manager Peri

«Le strutture in c.a. sono state realizzate con diversi sistemi di casseforme Peri,

concepiti per ottimizzare la produttività, individuando le soluzioni in stretta collaborazione con il cliente, cogliendo le specifiche esigenze e favorendo il ciclo produttivo più congeniale. Per esempio si è fatto ricorso a diversi sistemi rampanti e di protezione, accoppiati alla cassaforma a telaio Trio per getti verticali, minimizzando i tempi di realizzazione».



Marco Cruciani
responsabile di commessa
Ati Cmb Unieco

«La complessità dell'intervento ha richiesto un team

altamente qualificato, sia per la parte produttiva (gestione e organizzazione del cantiere) che per quella tecnica (coordinamento e sviluppo progettazione, programmazione attività e cost control) per rispettare i tempi».



Fabrizio Ceriani
direttore tecnico di cantiere, Ati Cmb Unieco

«La sfida più grande è stata coordinare le competenze tecniche dei

subappaltatori per mettere a punto un sistema costruttivo e un ciclo di costruzione con elevata velocità. Abbiamo coordinato la realizzazione del nucleo in cls con quella della struttura metallica, gestendo le interfacce con le altre lavorazioni e considerando gli accorciamenti differenziali in corso d'opera e dei suoi impatti sui montaggi delle facciate».



Alfio Musumeci
resp. produzione
Ati Cmb Unieco

«La principale problematica è stata organizzare la logistica

di cantiere e le sequenze di realizzazione in un lotto con pochi spazi di stoccaggio, facendo interagire i diversi subappaltatori, sviluppando corridoi preferenziali interni al lotto atti alla circolazione dei mezzi di cantiere, in una evoluzione circolare».



Paola Mismasi
resp. controllo e coord. prog., Ati Cmb Unieco

«La sfida è stata sviluppare il progetto costruttivo, coordinando

le discipline, in sintonia con il programma dei lavori e con una visione unitaria, chiara, d'insieme di tutto l'organismo edilizio».



Arch. Andreas Kipar
direttore tecnico di Land Milano

«Il giardino centrale, a copertura del general interest, è un'area di

oltre 4mila mq con una sistemazione a verde pensile con vaste aree a prato, delle «onde» di graminacee più alte e gruppi di alberature piantumati su aree con ricarichi di terra appositamente disegnati con un franco di terra di 2 m al di sopra di impermeabilizzazioni e drenaggio. La tecnica stratigrafica del verde pensile è tra le più avanzate presenti oggi sul mercato».



ing. Cosimo Verteramo
project director
Deems Italia

«Ci è stato consentito fin dal concept di lavorare fianco a fianco con tutti

i consulenti «asset» al per costruire un progetto integrato con al centro la sostenibilità nella sua eccezione più ampia. Partendo da analisi attraverso «score matrix» di comparazione, abbiamo approfondito le tematiche sui sistemi proposti, sviluppando studi di «life cycle cost analysis» degli impianti individuando le soluzioni più adeguate alle esigenze del progetto».



Ing. Mauro Somavilla
technical advisor
ArcelorMittal Italia

«Forme all'avanguardia, configurazioni impegnative, habitat ostili,

spazi alleggeriti, trovano nuova linfa in profili laminati che garantiscono sicurezza e standard qualitativi migliorati».



Ing. Maurizio Teora
ad Arup Italia

«Arup ha fornito progettisti esperti nell'ambito strutturale, supportando gli

architetti e gli altri specialisti per realizzare un progetto coerente, durevole ed economico, impiegando materiali innovativi, mai usati in Italia».