

TORRE ISOZAKI

**Basso calore
d'idratazione e spinta
ridotta al minimo per
le nuove tipologie di
calcestruzzi utilizzate
nel nuovo quartiere
milanese CityLife**

La nuova torre progettata dagli architetti Arata Isozaki e Andrea Maffei all'interno del quartiere CityLife, importante cantiere di riqualificazione urbana della città di Milano, si ispira al modello della *endless column* dello scultore Constantin Brancusi, rappresentando metaforicamente una costruzione che non conosce limiti nella sua aspirazione a raggiungere il cielo. Complessivamente avrà un'altezza di poco superiore ai 200 m e una volta terminata diventerà uno tra gli edifici più alti d'Italia. La torre è stata progettata per ospitare fino a 3.800 persone, su circa 53.000 m². Verranno cantierizzati cinquanta orizzontamenti, di cui ben quarantasei a destinazione direzionale. Attualmente il progetto della torre prevede una struttura in cemento armato ed elementi compositi acciaio-calcestruzzo con un'altezza di 223 m dal piano d'imposta delle fondazioni (e di 207,2 m dal piano stradale). Le fondazioni sono state progettate come platea palificata, dove i pali agiscono da elementi riduttori di cedimento.

Il terreno

Il terreno del sito si colloca al centro di una pianura alluvionale sulla quale, per lo scioglimento degli strati ghiacciati situati nelle zone settentrionali, nel corso dell'attuale era geologica si è depositato uno spesso strato di detriti fluvio-glaciali e sabbiosi che caratterizzano tutta la zona di Milano.

In particolare, il profilo superficiale del sito dove è in costruzione la torre evidenzia la tipica stratigrafia della zona di Milano (dall'alto verso il basso):



- materiale fine granulare, con spessori che vanno da 5 a 9 m
- depositi fluviali (principalmente ciottoli sabbiosi e sabbia a matrice ghiaiosa), con tenore di limo scarso o assente, il cui spessore varia dai 37 ai 40 m
- depositi glacio-fluviali, comprendenti un'alternanza di strati di sabbie limose spessi circa 10 m e strati di limo sabbioso e argilloso con spessori da 1,5 a 4,5 m.

Prove

Per valutare l'interazione tra pali e terreno, sono state eseguite due prove di carico su pali-pilota a perdere del diametro di 1 m e lunghezza di 33 m, che sono stati caricati fino al raggiungimento del carico limite ultimo. L'obiettivo era determinare la curva carico-cedimento e stimare la resistenza laterale e la resistenza alla punta dei pali. L'interpretazione dei risultati ha confermato le assunzioni operate in sede di progettazione esecutiva e le principali ipotesi sul comportamento meccanico del complesso palo-terreno in risposta all'applicazione quasi-statica di un carico monotono.

La platea

La platea ha forma rettangolare con lati di 63,1 m e 27 m e uno spessore variabile di 2,5 m e 3,5 m; per la natura di fondazione mista, la platea poggia sia sul terreno sottostante sia sui 62 pali trivellati. Questi hanno una lunghezza di 33,2 m e un diametro di 1,2 m e 1,5 m e sono stati realizzati con calcestruzzo C32/40 XC1 S5.

La scelta della tipologia fondazionale è stata prevalentemente guidata dalle caratteristiche meccaniche dei terreni di fondazione e dall'entità dei carichi trasmessi in fondazione dalla torre, pari a circa 1430 MN (143.000 tonnellate) in combinazione di esercizio.

Si è ritenuto che una fondazione mista potesse offrire maggiori vantaggi rispetto a una fondazione di tipo tradizionale – diretta o indiretta – e, allo stesso tempo, rispettare i criteri di verifica di sicurezza e di esercizio previsti dalla normativa e dai requisiti prestazionali della torre.

La fase di progettazione ha portato ad una struttura che, rispetto a una precedente soluzione con fondazione diretta, ha permesso di ridurre le quantità di calcestruzzo per la platea di circa il 60% e dell'acciaio d'armatura di circa il 45%, oltre a garantire cedimenti stimati nell'ordine del 40% inferiori a quelli previsti per la soluzione con fondazione superficiale.



Dal punto di vista strutturale, le zone di maggior sollecitazione della platea, al di sotto dei nuclei di stabilità principale della torre, sono state armate all'intradosso con quattro strati di armatura per ciascuna direzione principale. Nelle zone centrali della platea, dove le sollecitazioni di calcolo sono minori, l'armatura tipica all'intradosso è costituita da due strati d'armatura per ciascuna direzione principale. Le dimensioni della fondazione e l'armatura prevista a progetto sono state determinate da sollecitazioni flessionali massime di circa 31 MNm (3.100 tonnellate-m) e di circa 42 MN di taglio (4.200 tonnellate) nella sezione maggiormente sollecitata.

L'armatura è poi stata verificata per accertare il rispetto di tutti i limiti di progetto per le tensioni massime e l'apertura delle fessure in condizione di esercizio, oltre che per i fenomeni di ritiro in condizioni di maturazione del calcestruzzo.

Verifiche

Le verifiche di sicurezza sarebbero agevolmente rispettate dalla sola platea. Tuttavia, per ricondurre le sollecitazioni strutturali e i cedimenti assoluti e differenziali della platea entro limiti accettabili, sono stati previsti i pali riduttori di cedimento. La lunghezza dei pali è

In alto.

La complessità delle armature del getto di fondazione.

Sopra.

Una vista dall'alto del cantiere.

REFERENZE



LA DIREZIONE LAVORI

La Committente CityLife S.p.A. ha affidato la Direzione Lavori dell'intero Nuovo Polo Urbano all'ATI Ingegneria SPM – Studio In.Pro. Direttore dei Lavori e Responsabile dei Lavori sono rispettivamente l'ing. Stefano Perotti e l'ing. Claudio Guido. I Direttori dei Lavori, con la loro trentennale esperienza in lavori pubblici e privati nei settori infrastrutturali, civili ed impiantistici, possono mettere a disposizione il know how derivante dalla direzione delle maggiori opere realizzate in Italia negli ultimi decenni tramite uno staff di oltre 150 persone. Entrambe le Società puntano da sempre all'eccellenza unendo all'attività professionale del proprio team anche la più sviluppata tecnologia applicata al settore fornendo trasparenza, tempestività ed efficienza all'intero sistema produttivo e di controllo grazie anche a sofisticati sistemi informatici come la Piattaforma Projectmate 2.0, utilizzata su lavori per un valore superiore ai 20 miliardi di euro.

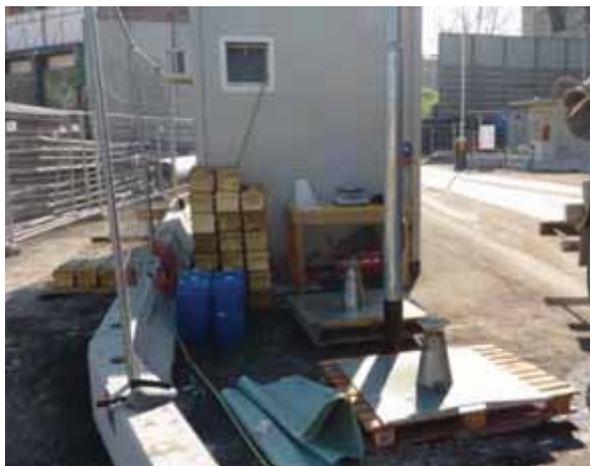
stata definita con attenzione per contenere il più possibile l'entità dei cedimenti di consolidazione secondaria.

Casserature

Il getto della fondazione è avvenuto in due fasi successive: la prima con un'altezza di 2,5 m e la seconda per il rimanente metro di altezza. All'interno di questi getti sono state preventivamente lasciate le maschere per la formazione delle fosse dei futuri ascensori. Per poter realizzare il monoblocco in calcestruzzo sono stati utilizzati circa 550 m² di pannelloni nervati da correnti metallici e sostenuti da puntelli ad alta portanza.

Sopra. Particolare del calcestruzzo in uscita dal tubo getto della pompa.

Sotto. Il laboratorio mobile del cantiere.



Ogni singolo puntone è stato posizionato per contrastare la spinta del getto formatasi su un'area di appena 1,35 m² (si pensi che ogni metro di battente doveva contrastare una spinta di 30 kN/m²). Lungo tutto il bordo perimetrale, per poter permettere alle maestranze di lavorare agevolmente e completamente in sicurezza, sono state allestite passerelle di protezione laterale. Il volume richiesto era di circa 4150 m³ di calcestruzzo per la prima fase e di 1050 m³ per la seconda fase.

Caratteristiche del getto

Le dimensioni della platea di fondazione erano tali da considerare il getto di tipo massivo. Un getto viene definito massivo quando gli spessori del manufatto non permettono una dispersione del calore generato nella fase di idratazione del cemento, in maniera costante e progressiva. Le problematiche connesse a questa tipologia di struttura riguardano i delta termici che si registrano nelle varie sezioni del getto e differenze di temperature tra il centro della struttura e la temperatura ambientale. Tale tematica viene identificata con la potenziale insorgenza di fessurazioni di origine termica.

Lo studio della miscela impiegata ha richiesto particolare attenzione, unitamente allo studio delle necessarie precauzioni per la cura, la stagionatura e la protezione del getto, per minimizzare i potenziali pericoli connessi ai delta termici del calcestruzzo in opera.

Prescrizioni del calcestruzzo

Le prescrizioni del calcestruzzo, definite dallo studio Arup, oltre a indicare classe di esposizione, resistenza meccanica e tutte le altre caratteristiche salienti, riguardavano anche la fase di stagionatura e di protezione della struttura per limitare i delta termici del calcestruzzo:

- massima temperatura al nucleo del getto: $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, definito come $T_{\text{max}} \leq T_{\text{cls fresco}} + \Delta T_{\text{idr}} \leq 70\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ΔT superiore-nucleo $\leq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, con ΔT definito come differenza di temperatura tra lo strato corticale del calcestruzzo e il nucleo o nocciolo del getto.

Le prove preliminari miravano a definire:

- il calore di idratazione del cemento prescelto
- lo sviluppo delle temperature dell'impasto di calcestruzzo
- il monitoraggio con termocoppie annegate nel getto

Monvil Beton e Mapei, hanno suggerito l'utilizzo di calcestruzzo autocompattante, SCC (Self Compacting Concrete), permettendo così all'impresa di gettare in maniera continua e di avere un getto monolitico ed omogeneo.

Qualifica della miscela

La qualifica della miscela ha richiesto diversi mesi di prove preliminari e attente verifiche. L'idea di base portata avanti da Monvil Beton e Mapei partiva dalla scelta dell'impresa di gettare il calcestruzzo in maniera continua, senza ausilio di vibrator e senza prevedere giunti di costruzione nel manufatto. Al momento della progettazione della miscela si è stabilito un getto costante di 35 ore continue, attraverso l'approvvigionamento di due impianti di Monvil Beton. Data la difficoltà di prevedere l'aumento della temperatura finale, soprattutto al nucleo, si è deciso di contenere il più possibile l'innalzamento termico della miscela.

Questa conclusione ha portato alla scelta di impiegare aggiunte minerali, all'ottimizzazione del contenuto di cemento e alla richiesta di spostare il limite temporale delle verifiche delle resistenze meccaniche non più a 28 giorni ma ai 60 e anche fino ai 90 giorni di stagionatura, restando all'interno della conformità al Controllo di tipo A secondo le Norme Tecniche, dopo i 28 giorni di stagionatura e il raggiungimento delle resistenze prevista ai 60 e/o ai 90 giorni.

Materiali componenti

La miscela finale è stata ottenuta mediante l'utilizzo di cemento d'alto forno CEM III/A, di



classe 32,5, aggregati provenienti dalla cava del produttore di calcestruzzo e filler calcareo, al cui interno è stato inserito MAPEPLAST PZ 300, aggiunta in polvere costituita da componenti micronizzati ad attività pozzolanica. Sono stati inoltre utilizzati l'additivo superfluidificante DYNAMON SR 914 e il viscosizzante VISCOSTAR 3K ottenendo, così un calcestruzzo C32/40 LH XC2-XC4 SCC dalle elevate caratteristiche di auto-compattabilità e sviluppo di calore d'idratazione in regime controllato. Le prove in cantiere, eseguite su un cubo di calcestruzzo protetto da pannelli isolanti, cioè in condizioni semiadiabatiche e opportunamente monitorato con termocoppie, hanno dimostrato la conformità delle caratteristiche termiche della miscela ai requisiti delle specifiche. Inoltre le qualifiche sono state corredate dai valori di resistenza alla trazione per flessione e resistenza alla trazione per splitting, eseguite da Laboratorio Ufficiale, così come la determinazione del ritiro idraulico della miscela.

Nei prossimi numeri di *Realtà Mapei* daremo notizia dell'avanzamento del cantiere.



In alto. Il getto notturno del calcestruzzo.

Sopra. Da sinistra, Giorgio Villazzi, titolare di Monvil Beton, Adriana Spazzoli, Giorgio Squinzi e Claudio Artusi, presidente e amministratore delegato di CityLife.

SCHEDA TECNICA

Torre Isozaki, Milano

Anno di intervento: 2012

Intervento Mapei: fornitura di additivi per calcestruzzo

Progettazione strutturale: Arup Italia (Milano)

Direzione lavori: ing. Claudio Guido (ATI SPM-INPRO)

Imprese esecutrici: S.G.F. - I.N.C. SpA (Milano) (consulenza: prof. Franco Mola); sub-appalto: Impresa Bacchi (Milano)

Casserature: Doka, Colturano (MI)

Calcestruzzi: Monvil Beton, Cusano Milanino (MI)

Coordinamento Mapei Pietro Lattarulo, Gianluca Bianchin, Mapei SpA

PRODOTTI MAPEI

Mapeplast PZ 300, Dynamon SR 914, Viscostar 3K

Per maggiori informazioni sui prodotti consultare il sito www.mapei.it.