

# Edifici alti in calcestruzzo: nuove prospettive per le città

## PARTE 1: Aspetti generali ed evoluzione

*Franco Mola, Ordinario di Costruzioni in Calcestruzzo Armato e Precompresso, Dip. ABC, Fac. di Ingegneria, Politecnico di Milano*

### 1. INTRODUZIONE

Gli edifici alti rappresentano uno fra gli esempi più emblematici ove la architettura e l'ingegneria trovano momento di felice sintesi attraverso un complesso e sinergico lavoro comune. Fin dal loro apparire, alla fine del secolo XIX, gli edifici alti si sono imposti per la novità, la loro eleganza e il messaggio di sfida verso il raggiungimento di traguardi sempre più arditi che da essi traspariva. Per questa ragione, anche in realtà urbane ove già erano presenti segni illustri dell'eredità architettonica del passato che ne identificavano profondamente l'aspetto, gli edifici alti di più grande valenza estetica sono ben presto assurti al ruolo di eminenti luoghi storici cittadini. Il primo fra questi, sebbene non si tratti di un edificio alto, bensì di una torre, è la Tour Eiffel, Fig. 1, costruita in Parigi in occasione della Esposizione Universale del 1889. L'edificio, a struttura metallica, di altezza 300m, non fu inizialmente accolto con favore dalla totalità dei cittadini, che non ne compresero immediatamente il carattere innovativo e di forte avanzamento tecnologico, percependola estranea ad una città la cui storia e le cui vestigia artistiche e monumentali avevano trovato una consolidata connotazione. Solo con il passare del tempo la Torre divenne una presenza familiare, fino a divenire l'edificio più visitato al mondo, identificandosi sempre più con la città, orgogliosa della sua "Tour de trois cents mètres", cui rimase indissolubilmente legata. I primi edifici alti, ad uso abitativo o per uffici, furono costruiti negli Stati Uniti, dapprima nella città di Chicago, dove si imposero per la loro eleganza il Home Insurance Building, progettato da W. Le Baron Jenney, costruito nel 1884, alto 41m, Fig. 2, e il Reliance Building, Fig. 3, progettato da J. Root e C.B. Attwood, costruito nel 1895, alto 61m, promosso National Historic Landmark nel 1976. Sebbene la nascita degli edifici alti si identifichi con la città di Chicago, il loro sviluppo e la loro popolarità raggiunsero i massimi livelli nella città di New York, ove possono distinguersi due periodi nei quali gli edifici alti raggiunsero momenti di grande, inimitabile e forse non più raggiungibile splendore. Ci riferiamo alla cosiddetta Prima New York Era, che si estende nelle prime due decadi del XX Secolo, della quale gli esempi più emblematici sono il Flatiron Building, Fig. 4, di altezza 86.9m, costruito nel 1902, progettato da D. Burnham, il Metropolitan Life Insurance, Fig. 5, alto 213m, progettato da N. LeBrun, il Woolworth Center, Fig. 6, progettato da C. Gilbert nel 1913, avente altezza 241m. Il secondo di questi edifici, costruito nel 1909, riassume nella sua architettura a torre aspetti assai vicini a quelli del Campanile di S. Marco in Venezia, in quegli anni in fase di ricostruzione dopo il catastrofico crollo del campanile originario del IX secolo, avvenuto nel 1902. Il terzo, nella sua variabilità geometrica, derivante dall'intersezione di differenti volumi, già anticipa le problematiche strutturali che caratterizzeranno gli edifici costruiti negli anni successivi. Alla seconda New York Era, che si estende per tutta la terza decade del XX Secolo, appartengono i tre edifici la cui eleganza, nitidezza di linee e chiarezza di rapporti geometrici dei volumi architettonici, conferiscono loro un primato che ancora oggi rimane insuperato. Ricordandoli in relazione alla loro altezza e non al periodo di costruzione essi sono rispettivamente: RCA Building nel Rockefeller Center, Fig. 7, alto 280 m, progettato da R. Hood, inaugurato nel 1933, il Chrysler Building, Fig. 8, progettato da W. Van Halen, aperto nel 1930, il primo edificio che, con i suoi 319m di altezza, superò la Tour Eiffel, e la cui purezza di linee nonché le raffinate finiture interne ed esterne in Art Deco, ne hanno fatto una delle presenze più accattivanti di New York ed infine l'Empire State Building, Fig. 9, su progetto di W. Lamb, aperto nel 1931, avente altezza 381m, rimasta insuperata fino al 1973, dichiarato National Historic Landmark nel 1986.

Nel dopoguerra le altezze degli edifici si riducono e le loro caratteristiche più significative sono legate alle grandi personalità architettoniche che ne concepirono il progetto ed alla presenza delle facciate in vetro, che costituiranno carattere distintivo di questi edifici negli anni successivi, fino alle attuali esperienze. Esempi insigni di edifici di questo periodo, anch'essi divenuti emblemi della città, sono il Seagram Building, Fig. 10, avente altezza 157m, progettato da L. Mies Van Der Rohe nel 1958 e il Pan Am Building, poi Met Life Building, Fig. 11, alto 246m, progettato da E. Roth, P. Belluschi e W. Gropius, aperto nel 1963. L'avanzamento della concezione strutturale, operata da F. Khan negli anni '70 è alla base dello sviluppo verticale che ebbero gli edifici alti a partire da quegli anni, da cui prese le mosse una spinta propulsiva che attualmente non ha ancora esaurito tutte le sue potenzialità. Negli anni '70 la nuova concezione strutturale conferì un nuovo e specifico aspetto alle facciate degli edifici alti, come appare in maniera evidente nel John Hancock Center di Chicago, Fig. 12, costruito nel 1969, avente altezza 344m, e successivamente nella Sears Tower, oggi Willis Tower, costruita in Chicago nel 1973, Fig. 13, avente altezza 442.1m, entrambi progettati da B. Graham e F. Khan e ancora nel World Trade Center di New York, costruito nel 1973, Fig. 14, alto 417m, progettato da M. Yamasaki, E. Roth. La nuova concezione strutturale diede luogo ad una maggiore libertà formale degli edifici alti, il cui polo di sviluppo si spostò negli anni '80 in estremo oriente, ove spiccano per la loro bellezza ed originalità il Bank of China Building in Hong Kong, Fig. 15, alto 315m, progettato da I. M. Pei & Partners, aperto nel 1990, il Hong Kong Bank, Fig. 16, anch'esso in Hong Kong, alto 178.8m, su progetto di N. Foster, aperto nel 1985, le Petronas Twin Towers in Kuala Lumpur, Fig. 17, alte 451.9m, progettate da C. Pelli e poste in esercizio nel 1996. Fra questi il primo, caratterizzato da forme geometriche di grande complessità, costituisce il progenitore di una serie di edifici nei quali la forma, la architettura e l'impianto strutturale convergono sinergicamente per dare vita ad un organismo dal funzionamento assai delicato, mentre l'ultimo ha fissato la massima altezza degli edifici alla fine del secondo millennio. Negli anni successivi la altezza degli edifici cresce in un processo continuo che ha oggi portato la massima altezza a 829.8m, con il Burj Khalifa in Dubai, Fig. 18, progettato da A. Smith e B. Baker aperto nel 2010, già superata da quella della Kingdom Tower in Jeddah, Saudi Arabia, Fig. 19, attualmente in costruzione, su progetto di A. Smith, A. D. Smith, G. Gill, che raggiunge i 1000 m. Le brevi note qui riportate si riferiscono ad organismi le cui caratteristiche, le complessità di funzionamento e le specifiche ed in alcuni casi per la prima volta affrontate difficoltà statiche, tecnologiche e costruttive, hanno conferito agli edifici alti aspetto primario nello sviluppo delle conoscenze tecniche, scientifiche e tecnologiche dell'arte del costruire, specialmente per quanto riguarda i materiali impiegati, che nell'ambito di circa un secolo hanno subito drastici cambiamenti e miglioramenti. Per quanto riguarda gli impianti strutturali i materiali impiegati sin dalla costruzione dei primi edifici di inizio XX secolo fino ad oggi sono sostanzialmente due, precisamente l'acciaio strutturale ed il calcestruzzo armato. Gli impianti strutturali degli edifici alti sono stati realizzati esclusivamente a struttura metallica fino a tempi relativamente recenti, data la netta prevalenza in termini di capacità resistente dell'acciaio rispetto al calcestruzzo. L'avanzamento tecnologico che ha caratterizzato il calcestruzzo strutturale a partire dagli anni '80 ed attualmente in continua evoluzione, ha tuttavia fatto sì che tale materiale si sia sempre più imposto alla attenzione dei progettisti, fino a divenire concorrenziale o addirittura superiore all'acciaio strutturale anche nella realizzazione di edifici di grandissima altezza. Nel prosieguo, dopo una breve disamina dello sviluppo degli edifici alti a struttura in calcestruzzo armato, verranno analizzate in dettaglio le ragioni della attuale larga presenza di questo materiale nella costruzione di edifici alti e delle modalità essenziali attraverso le quali si articola la progettazione di questi speciali tipi strutturali per i quali il calcestruzzo armato viene utilizzato nelle sue varietà attualmente disponibili e le cui prestazioni sono governate da specifici documenti normativi /1/, /2/, /3/, e di riferimento /4/.

## **2. L'EVOLUZIONE DEGLI EDIFICI ALTI A STRUTTURA IN CALCESTRUZZO ARMATO**

Le forti sollecitazioni agenti sulle strutture portanti verticali degli edifici alti richiedono materiali di resistenze elevate e di qualità garantita per la loro costruzione. La assai marcata differenza in termini di resistenza e di qualità di prodotto esistente fra l'acciaio strutturale e il calcestruzzo, all'epoca delle prime costruzioni, conferì al primo carattere ineludibile, pur se non esclusivo, per la formazione degli organismi strutturali resistenti degli edifici alti. Infatti, l'acciaio strutturale venne

impiegato con carattere esclusivo per la formazione dello scheletro portante dell'edificio, consistente in telai metallici a connessione chiodata, con chiodi ribaditi a caldo, mentre in calcestruzzo armato si realizzarono altre parti strutturali, di grande importanza nell'economia del complesso resistente, ma gravate da minori sollecitazioni quali le fondazioni, i solai di piano e i vani scale ascensori. In linea di principio può comunque affermarsi che l'acciaio strutturale non è in ogni caso l'unico materiale costituente l'organismo strutturale, mentre il calcestruzzo potrebbe esserlo. A questo riguardo il primo edificio di maggiore altezza mai costruito a struttura totalmente in calcestruzzo armato fu la Torre Pirelli in Milano, Fig. 20, alta 127m, progettata da G. Ponti e P. L. Nervi, aperta nel 1960. La altezza relativamente contenuta e l'utilizzo di massicce strutture verticali a telaio con colonne di sezione variabile permise, con i calcestruzzi allora disponibili, di costruire un edificio di grande bellezza e nitidezza formale, il cui comportamento strutturale si è mantenuto nel tempo di ottimo livello. Dopo l'esperienza della Torre Pirelli altri edifici in calcestruzzo armato sono stati costruiti nel mondo, alcuni dei quali sono mostrati nelle Fig. 21-22-23. Si osserva tuttavia che fino agli anni '80, l'altezza degli edifici ad ossatura in calcestruzzo armato non superava i 250m. A partire da quegli anni le costruzioni alte in calcestruzzo armato hanno raggiunto altezze sempre più elevate, superando i 400m e fissando la massima altezza al livello 451.9m, con le Petronas Towers in Kuala Lumpur alla fine del XX Secolo. Osservate in senso stretto le Torri Petronas non sono tuttavia a struttura totalmente in calcestruzzo armato, essendo gli impalcati formati da travi metalliche, lamiera grecata e getto collaborante. Dopo l'esperienza delle Petronas Towers le strutture alte in calcestruzzo armato si sono sempre più sviluppate sino a raggiungere attualmente l'altezza di 829.8m con il Burj Khalifa di Dubai e la futura Kingdom Tower in Jeddah, di altezza 1000m, in fase di costruzione. L'attuale esperienza italiana, che ha fissato a 210m l'altezza massima degli edifici alti costruiti nel paese, è pressoché totalmente incentrata sull'utilizzo del calcestruzzo armato, che è stato impiegato per la costruzione di Palazzo Lombardia, Fig. 24, progettato da Pei, Cobb, Freed & Partners, alto 161.30m, aperto nel 2010, del Polo Garibaldi Repubblica, Fig. 25, progettato da C. Pelli in Milano, aperto nel 2012, la cui altezza, di 146m, raggiunge i 231m se misurata in sommità della enorme guglia, che da sola ha altezza superiore alla metà di quella dell'edificio, dell'intervento immobiliare Citylife, attualmente in costruzione, sul sedime della Ex Fiera Campionaria in Milano, ove le tre torri di altezza rispettiva 185m, 207m, 175m, portano la firma degli architetti Z. Hadid, A. Isozaki e D. Liebskid, Fig. 26, e per la costruzione dell'edificio Nuova Sede per Uffici Torre Regione Piemonte in Torino, progettata da M. Fuksas, Fig. 27, attualmente in costruzione, avente altezza 210m, che lo porrà quale edificio di maggiore altezza in Italia. Sempre in ambito italiano possono citarsi infine i due edifici alti più rappresentativi dell'utilizzo dell'acciaio strutturale e precisamente l'Edificio Banca Intesa in Torino, Fig. 28, progettato da R. Piano, alto 167.25m, attualmente in fase di finitura, e l'edificio Diamante nel Polo Porta Nuova Varesine in Milano, progettato da K. Pederson Fox, Fig. 29, alto 140m e aperto nel 2012. Sulla base di quanto illustrato, riportato sinteticamente nella Fig. 30, si può osservare che il rapporto privilegiato a favore dell'acciaio che si è mantenuto indiscusso fino agli anni '80 si è via via ridotto fino ad attualmente invertirsi a favore del calcestruzzo, o se non altro, si può parlare di un rapporto paritetico fra i due materiali. La motivazione di questa realtà trova la sua evidenza nell'impetuoso avanzamento tecnologico che si è manifestato nella produzione dei calcestruzzi a partire dagli anni '80 ed è tuttora in pieno svolgimento. A partire da quegli anni il calcestruzzo è stato riguardato quale materiale da costruzione capace di fornire prescritte prestazioni a fronte di una qualità garantita. Esso è stato così oggetto di mirate ed approfondite ricerche da parte di tecnologi, ricercatori, progettisti, che hanno portato alla definizione del calcestruzzo ad alte prestazioni, per il quale si sono messe a punto specifiche modalità di progetto degli impasti, introducendo nuovi componenti, aggiuntivi o parzialmente sostitutivi dei tradizionali, capaci di garantire caratteristiche orientate a soddisfare determinate necessità strutturali. Parallelamente si sono sviluppate procedure di analisi strutturale atte ad interpretare con affidabilità la capacità di strutture costruite con i nuovi calcestruzzi nei confronti di specifici stati limite di comportamento, non solamente di tipo resistente, ma anche di maggiore complessità e sofisticatezza quali lo stato deformativo, istantaneo e differito, la risposta dinamica, la vibratilità, la capacità di smorzamento. Queste procedure hanno attualmente raggiunto gradi di soddisfacente consolidamento, sì da permettere con affidabilità il progetto del materiale e delle strutture e di valutarne realisticamente le capacità prestazionali. Nel prosieguo, dopo alcune osservazioni circa

le caratteristiche dei calcestruzzi prestazionali, vengono discussi alcuni aspetti di particolare interesse della progettazione di edifici alti in calcestruzzo armato.



Fig.1 - Tour Eiffel, Parigi, 1889



Fig. 2 - Home Insurance Building, Chicago, 1884



Fig. 3 - Reliance Building, Chicago, 1895



Fig. 4 - Flatiron Building, New York, 1902



Fig. 5 – Metropolitan Life Insurance, New York, 1909



Fig. 6 - The Woolworth Building, New York, 1913



Fig. 7 – RCA Building (Rockefeller Center), New York, 1933



Fig. 8 – Chrysler Building, New York, 1930



Fig. 9 – Empire State Building, New York, 1931



Fig. 10 – Seagram Building, New York, 1958



Fig. 11 – MetLife (Pan Am) Building, New York, 1963



Fig. 12 – John Hancock Center, Chicago, 1969



Fig. 13 – Willis Tower (Sears Tower), Chicago, 1973



Fig. 14 – World Trade Center, New York, 1973



Fig. 15 – Bank of China, Hong Kong, 1990



Fig. 16 – Hong Kong Bank, Hong Kong, 1985



Fig. 17 – Petronas Towers, Kuala Lumpur, 1996



Fig. 18 – Burj Khalifa, Dubai, 2010



Fig. 19 – Kingdom Tower, Jeddah (in costruzione)



Fig. 20 – Torre Pirelli, Milano, 1960



Fig. 21 – Wilson Mendes Caldeira, Sao Paulo, 1963



Fig. 22 – AfE Turm, Frankfurt, 1972





Fig. 23 – MLC Centre, Sydney, 1977



Fig. 24 – Palazzo Lombardia, Milano, 2010



Fig. 25 – Complesso Porta Nuova-Garibaldi, Milano, 2012



Fig. 26 – CityLife, Milano



Fig. 27 – Nuovo Palazzo per Uffici Torre Regione Piemonte, Torino



Fig. 28 – Banca Intesa, Torino



Fig. 29 – Diamante, Milano, 2012

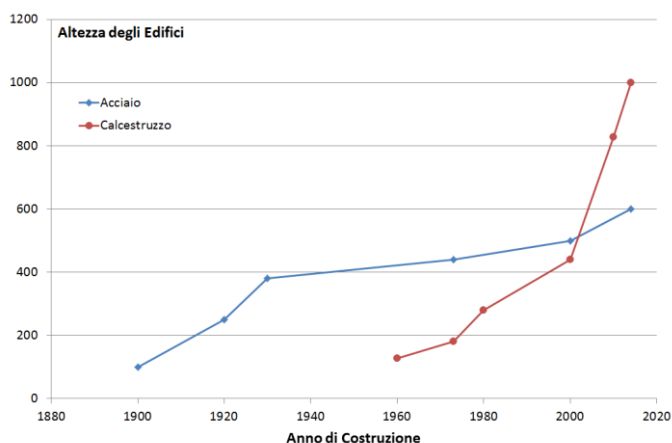


Fig. 30 – Altezze degli Edifici

### Bibliografia

- /1/ UNI EN 1992-1-1 Eurocodice 2 Progettazione delle strutture in calcestruzzo, Parte 1-1 Regole generali e regole per gli edifici, 2006
- /2/ American Concrete Institute, Manual of Concrete Practice, Farmington Hills, MI, USA, 2014
- /3/ Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 14.01.2008
- /4/ fib Model Code for Concrete Structures, Ernst & Sohn, Berlin, 2013