

Due le caratteristiche dei progetti di oggi: l'altezza come valore (intrinseco) e forme stravaganti che celano soluzioni tecnologiche ardite e spesso non risolte

## ...OLTRE LE REGOLE

Dario Trabucco

**A**l di là di alcuni esempi decisamente stravaganti, è possibile osservare una generale modificazione di alcuni paradigmi classici dell'architettura dei grattacieli. Se nel corso degli anni '60 e '70 la purezza delle forme, delle superfici e dei materiali adoperati era il carattere distintivo degli edifici alt' più apprezzati, sinonimo di eleganza di un'architettura "senza tempo" (si vedano a questo proposito la Tour Fiat a Parigi, il John Hancock Building di Boston o la Bank of China a Hong Kong), la tendenza attuale è sicuramente cambiata. I principali progetti presentati negli ultimi anni hanno un aspetto figurativo molto forte, che viene definito "iconic" dalla stampa e dagli studiosi internazionali.

Sempre più spesso vengono infatti proposti

(© Image Fiction / Courtesy of Studio Gang Architects)



### ILLUSIONI?

Spesso i grattacieli inclinati e spiraleggianti sono finzioni tecnologiche: edifici alti convenzionali, in cui solo l'involucro e le porzioni dei solai modificano il loro aspetto.

Ne è un esempio Aqua Tower: questo interessante progetto dello Studio Gang di Chicago propone un'originale soluzione che conferisce all'edificio un aspetto inusuale. L'irregolarità della facciata, facilmente percepibile osservando il grattacielo da lontano o dall'altezza della strada, è in realtà solo apparente: gli aggetti del solaio, responsabili dell'ondulazione che caratterizza l'immagine dell'edificio, da cui il nome, celano in realtà un involucro tradizionale, composto da elementi uniformi e standardizzati.



(© Image Fiction / Courtesy of Studio Gang Architects)





### "ICONIC"

Il Burj Al Arab (320 metri) è forse uno dei più famosi grattacieli costruiti di recenti. L'edificio, la cui forma simboleggia una vela dispiegata al vento, rappresentava, quando venne ultimata, lo stato dell'arte delle tecnologie costruttive dell'epoca. La sua complessa geometria si rispecchia in una struttura portante altrettanto complicata e costosa.

### VERSO L'INFINITO. E OLTRE

La tensione verso l'altezza, le complessità progettuali degli edifici, a partire dalla difficoltà di pompare cis a più di 600 metri di altezza, fino agli escamotage tecnologici per gestire i collegamenti verticali erano gli argomenti affrontati nell'articolo pubblicato sul numero 345 di Modulo. Proseguiamo ora con un approfondimento sulle icone urbane ovvero costruzioni dalla volumetria irregolare che producono un'immagine fortemente caratterizzata. Le loro forme affusolate, inclinate o spiraleggianti, sfidano apparentemente le regole della statica e dell'architettura.



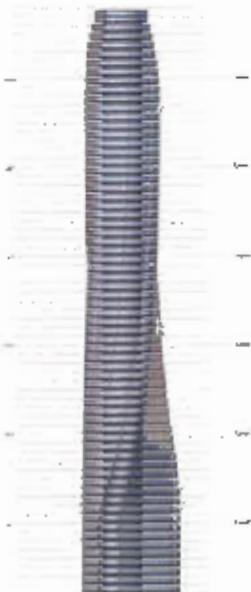
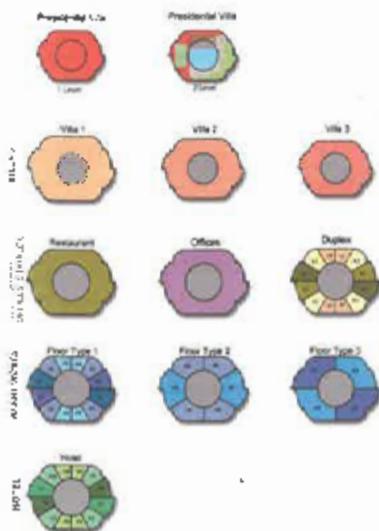
grattacieli dalle forme inusuali che sfidano apparentemente la forza di gravità e, in maniera più esplicita, le regole de l'architettura. Osservando infatti molti degli esempi dell'ultimo decennio è possibile individuare tre tendenze prevalenti, che si aggiungono al repertorio classico di forme per gli edifici alti.

La differenziazione nasce dall'aspetto che l'edificio può assumere una volta che il suo volume è portato alla massima semplificazione. Tale procedimento è utile per porre in adeguata evidenza gli aspetti e le modificazioni volumetriche più importanti, sfumando l'effetto prodotto da eventuali trattamenti di facciata o di dettaglio secondari. La volumetria può così prendere un andamento rastremato, fuori piombo o spiraleggiante.

### L'origine antica di una forma moderna: il grattacielo rastremato

Nonostante la loro progressiva diffusione negli ultimi anni sia innegabile, gli edifici a forma rastremata non sono in verità un'invenzione moderna. Il modello principale di riferimento di questa tipologia è probabilmente il John Hancock Center di Chicago, costruito nel 1969. La sua forma è originata da una pianta a base rettangolare "estrusa" secondo un angolo costante fino all'altezza totale di 344 metri. La progressiva riduzione della sezione dell'edificio ha però un'origine ancora più antica, che può essere fatta risalire alla Zoning Law adottata nel 1916 a New York. Questa legge urbanistica, oltre a determinare la destinazione d'uso delle varie zone in cui suddivideva Manhattan, imponeva dei progressivi arretramenti (setback)

### GENERAL SCHEME



### IL GRATTACIELO GIREVOLE, FORSE

Un esempio che ben sintetizza l'attuale momento di "spettacularizzazione" del progetto: circolazione dell'immagine su tutte le riviste anche generaliste, testo al futuro come se la realizzazione fosse imminente e il progetto tecnologico ben definito.

"Funzionerà con 48 turbine montate orizzontalmente tra un piano e l'altro e nelle celle fotovoltaiche che troveranno posto sui tetti dei singoli appartamenti. In più ci saranno i pannelli solari, che verranno posizionati sui tetti di ciascun piano e che durante la giornata, ruotando, rimarranno parzialmente esposti alla luce.. E

sarà in grado di produrre energia elettrica in misura significativamente superiore al proprio fabbisogno. La torre fornirà, infatti, circa 190 milioni di kilowatt di energia, per un valore di oltre 7 milioni di euro. All'interno della torre girevole troveranno spazio un albergo a sei stelle, uffici e appartamenti di varie metrature e, negli ultimi piani, cinque ville da 1.500 m<sup>2</sup> ciascuna.

La Rotating Tower sarà il primo grattacielo realizzato con sistemi industriali. Il 90% della struttura sarà costruito in moduli realizzati in uno stabilimento industriale e poi assemblato sul nucleo centrale."





**SUPER TALL BUILDING**  
**SI DEFINISCONO SUPER TALL BUILDING I**  
**GRATTACIELI CON UN'ALTEZZA**  
**SUPERIORE A 350 METRI. IL**  
**GRATTACIELO SIMBOLO DI DUBAI**  
**RAGGIUNGERÀ GLI 880 METRI. LO**  
**SVILUPPO DEI GRATTACIELI È**  
**FORTEMENTE LIMITATO DALLE**  
**PRESTAZIONI DEI SERVIZI DI**  
**TRASPORTO VERTICALE. L'ALTEZZA**  
**MASSIMA RAGGIUNGIBILE DA UN**  
**ASCENSORE È DI 550 METRI.**

popolazione hanno delle conseguenze piuttosto evidenti per quanto concerne la diffusione degli ascensori. L'Italia, infatti, con oltre 800.000 ascensori presenti nel territorio nel 2006 (e una stima di 15.000-20.000 nuovi sistemi installati ogni anno), è il Paese con il maggior numero di ascensori nel mondo, superando di misura sia gli Stati Uniti che

## Ascensori e sicurezza

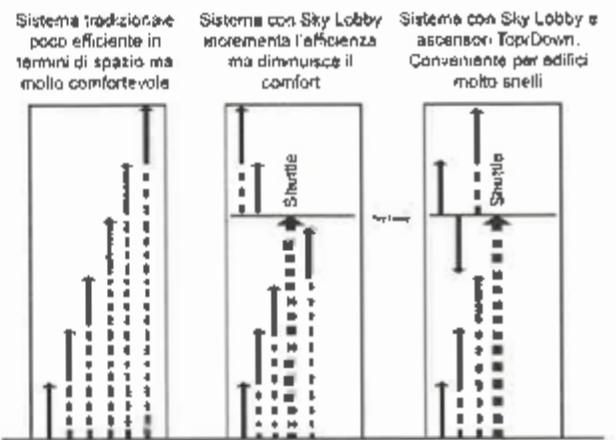
L'ascensore può essere considerato il mezzo di trasporto più sicuro del mondo, presentando un tasso di mortalità dei suoi utilizzatori sostanzialmente nullo e un tasso di incidentalità irrisorio se paragonato agli altri mezzi di trasporto. Le stime del 2006 riferite agli Stati Uniti parlano infatti di 120 miliardi di corse senza alcun morto e con soli 10.000 feriti, quasi tutti lievi.

L'alto livello di sicurezza raggiunto da questi apparecchi è il frutto di una stringente normativa e di un continuo susseguirsi di sistemi di sicurezza attivi e passivi sviluppati dalle industrie del settore. Proprio la sicurezza è stata da sempre oggetto di numerose invenzioni, alcune delle quali spiccano per la loro originalità, altre per la dubbia efficacia: tra queste ultime si può ricordare quella di un italiano che, sul finire del XIX secolo, pensò di introdurre nelle cabine una barra metallica, ancorata orizzontalmente sopra la testa dei passeggeri, alla quale questi si sarebbero dovuti appendere in caso di caduta della cabina. L'effetto di smorzamento fornito dalla barra avrebbe dovuto, secondo l'anonimo inventore, alleviare i danni dovuti all'impatto (inglis J, "Evolution of safety gears" Elevator World, Maggio 2000). A questa seguirono numerose e ben più efficaci invenzioni che hanno contribuito a rendere gli ascensori dei mezzi estremamente affidabili, anche in funzione delle loro stesse caratteristiche (guida a ricolata, sede propria, automazione) e dei molteplici controlli di sicurezza nelle fasi di progettazione, installazione e uso. Tra le normative più importanti in questo senso vi è il protocollo internazionale PESSRAL (acronimo inglese per Sistemi Elettronici Programmabili nelle Applicazioni Riguardanti la Sicurezza per gli Ascensori) che sancisce l'importante ingresso dell'elettronica non solo nei sistemi di controllo e gestione del traffico, ma anche nei sistemi di gestione delle procedure di emergenza e di sicurezza, prima affidati ai "tradizionali" sistemi meccanici di controllo.

la Cina, rispettivamente secondi e terzi.

Il mercato italiano tuttavia, a differenza di quello di altri Paesi, è caratterizzato da una limitata altezza dei sistemi installati e richiede di conseguenza dei prodotti con caratteristiche specifiche. Il mercato nazionale è quindi orientato, più che alla ricerca di prestazioni elevate, al completo soddisfacimento delle esigenze di sicurezza e, non in secondo piano, di comfort: la silenziosità di tutti gli apparati meccanici, il comfort di marcia e la qualità percepita dagli utenti sono oggi dei forti motori dell'innovazione industriale di questo settore coperto, nel nostro mercato, da produttori e prodotti di assoluta qualità. Oltre a queste caratteristiche, un importante settore di sviluppo è riservato alla creazione di impianti caratterizzati da una minima dimensione degli apparati meccanici necessari a la movimentazione della cabina. Grazie ai ridotti ingombri dei moderni ascensori è infatti possibile potenziare il servizio offerto nel caso di

rinnovamento degli impianti esistenti o, addirittura, inserire degli ascensori all'interno di edifici storici o comunque non concepiti per ospitarli. Oltre al già raggiunto traguardo dell'eliminazione del vano macchina, l'attenzione dei produttori è ora rivolta all'eliminazione della fossa e della testa, ovvero degli spazi vuoti lasciati liberi alle estremità inferiore e superiore del vano di corsa. In ambito internazionale, si riscontrano invece situazioni completamente opposte a quanto descritto per il caso italiano: ad un mercato numericamente meno ampio e in alcuni Paesi ancora relativamente poco attento al comfort degli utenti, fa da contraltare un'esigenza di trasporto verticale molto più complessa: il mercato si orienta dunque verso ascensori con prestazioni più elevate sia dal punto di vista della velocità/capacità, che delle altezze raggiungibili.

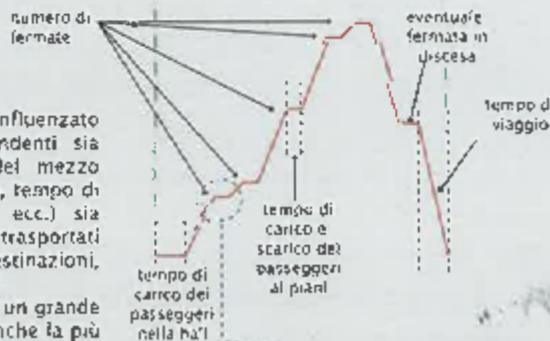
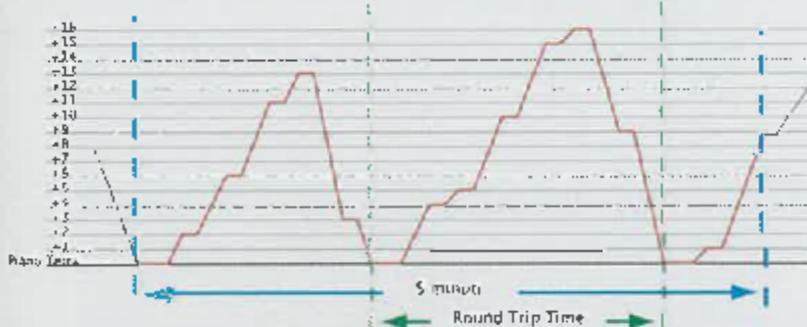


**Traffic boosting.** Combinare i diversi escamotage distributivi e tecnici consente di aumentare la capacità del sistema di trasporto, migliorare le prestazioni del traffico, ottimizzare il comfort e, attraverso una più efficiente gestione del sistema, anche l'efficienza energetica.

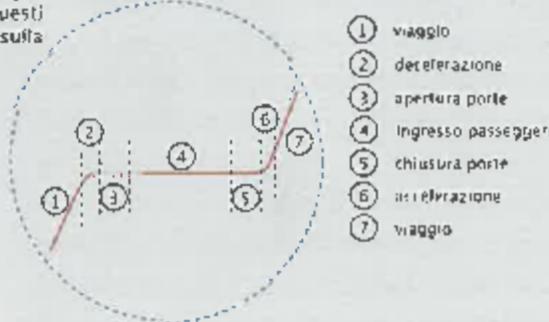


La Five Minute Handling Capacity (5MHC) è un indicatore della capacità del sistema di trasporto verticale di un gruppo di ascensori. La 5MHC indica la percentuale della popolazione totale dell'edificio che il sistema di ascensori è in grado di trasportare in un intervallo di 5 minuti.

In un intervallo di 5 minuti ogni ascensore compie un certo numero di cicli completi, variabile in funzione del suo Round Trip Time (RTT).



Il Round Trip Time è influenzato da molti fattori dipendenti sia dalle caratteristiche del mezzo (velocità, accelerazione, tempo di apertura delle porte, ecc.) sia dipendenti dagli utenti trasportati (quantità, numero di destinazioni, tempo di reazione ecc.) In un edificio dotato di un grande numero di ascensori anche la più piccola modifica di uno di questi parametri può ripercuotersi sulla capacità totale del sistema.



## La capacità

L'aspetto più affascinante nello studio degli edifici alti è forse dato da considerare come, in questa tipologia edilizia, a cunei dettagli apparentemente insignificanti nell'edilizia convenzionale si possano trasformare proprio a causa dell'altezza dei grattacieli in problematiche di difficile soluzione. La gestione del traffico verticale è sicuramente un aspetto molto delicato che impegna duramente sia i progettisti che le industrie produttrici di ascensori. La capacità di un sistema di trasporto è influenzata da alcuni parametri definibili in sede progettuale e, solo parzialmente, controllabili e modificabili durante la fase di gestione del servizio. La capacità del servizio di trasporto verticale di un edificio viene misurata in funzione della "five minute handling capacity", un parametro che esprime la percentuale della popolazione dell'edificio che, giungendo nella hall con una distribuzione casuale, viene movimentata dagli ascensori in un periodo di tempo di 5 minuti. Tale parametro rappresenta un indicatore sintetico fondamentale delle prestazioni del servizio, poiché esprime indicativamente il tempo necessario per riempire (o svuotare) l'edificio. Per esempio, una "five minute handling capacity" del 16% indica che il servizio di ascensori è in grado di smaltire nell'arco di 5 minuti il 16% della popolazione totale del grattacielo che potrà quindi essere riempito o svuotato completamente in poco più di mezz'ora. Un valore simile rappresenta un servizio di ottima qualità, tipico di importanti e prestigiosi edifici per uffici. Negli alberghi e più ancora nelle abitazioni le prestazioni richieste saranno meno esigenti e la

## Inclinati

Nei grattacieli inclinati, per esempio, la progressiva traslazione dei solai deve adattarsi al permanere di alcuni volumi fissi, come appunto il service core o i cavodi dei servizi di adozione e scarico dell'acqua. Anche per le strutture più ardite, l'elemento sicuramente irrinunciabile è quindi la presenza di un service core verticale, dovuta soprattutto alle esigenze di funzionamento degli ascensori, oltre che di altri servizi secondari. Nonostante infatti esistano mezzi di trasporto in grado di muoversi su un piano fortemente inclinato o sub-verticale, essi presentano una velocità di spostamento molto ridotta, non compatibile quindi con le esigenze di trasporto di un grattacielo. Il corpo umano è infatti in grado di tollerare accelerazioni e decelerazioni anche piuttosto pronunciate, purché limitate alla direzione verticale, mentre mal tollera quelle in cui è presente una componente orizzontale dello spostamento, responsabile della perdita di

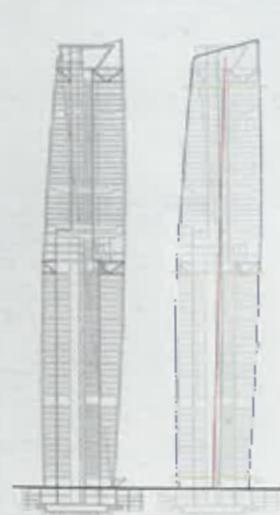
equilibrio. Per mitigare questo effetto e rendere possibili corse sub-verticali a velocità accettabili, sono in corso numerose ricerche da parte dei principali gruppi industriali del settore.

Il fuori piombo può interessare solo una parte dell'edificio (generalmente la sommità) oppure estendersi per l'intera altezza della costruzione. L'esempio più spettacolare di edificio inclinato è probabilmente il complesso Puerta de Europa a Madrid. Nella capitale spagnola, due torri di 115 metri d'altezza si fronteggiano inclinate l'una verso l'altra di 15° gradi, creando un fuori piombo di quasi 30 metri. In sezione è comunque possibile notare un core strutturale in cemento armato verticale, che assolve parte delle funzioni portanti richieste dall'edificio. La struttura del grattacielo è poi completata dalla maglia metallica dei solai, degli elementi portanti semi-verticali e di quelli inclinati. Questi ultimi equilibrano la costruzione trasferendo gli sforzi di trazione al contrappeso in calcestruzzo posto

## Veri inclinati, finti inclinati

La Capital Gate Tower, in costruzione a Abu Dhabi, è un grattacielo di 160 metri che avrà un'inclinazione massima di 18°. Al suo interno, è comunque possibile osservare la continuità verticale del suo service core, dovuta alle esigenze tecniche degli ascensori. La struttura del grattacielo è composta da una diagrid esterna e, limitatamente ai piani più alti, da una interna. Parte del core strutturale è sottoposto a sforzi di tensione, dovuti all'inclinazione della torre. L'involucro è formato da 728 elementi di diversa dimensione. (Courtesy: ADNEC)

Caratteristica comune di tutti i grattacieli, anche quelli inclinati dalla forma più ardita, è la presenza di un service core centrale perfettamente verticale. La verticalità di questo elemento, necessaria per il funzionamento dei vari apparati meccanici in esso contenuti (primi fra tutti gli ascensori), viene sfruttata per rispondere a parte delle esigenze strutturali del grattacielo. La presenza di questo elemento provoca però delle difficoltà nella distribuzione degli spazi interni, a causa della progressiva traslazione dei solai e, di conseguenza, della continua variazioni della posizione delle partizioni interne. (Courtesy: ADNEC)



La NEATT Tower di KPF, nella nuova città di Songdo in Corea, ha una pianta poligonale dalla geometria variabile. Grazie a questa progressiva modifica della loro forma, i solai donano un aspetto particolarmente dinamico al grattacielo, facendolo apparire leggermente inclinato (linea rossa). Analizzando il centro della massa invece, (linea verde) la costruzione risulta quasi perfettamente a piombo, rendendo quindi il progetto delle strutture molto meno complesso.



Il progetto di Libeskind, il più fortemente caratterizzato dei tre grattacieli proposti per l'ex zona fiera di Milano, è costituito da un corpo ricurvo intersecato dalla torre verticale contenente il service core. Le esigenze meccaniche degli ascensori escludono, per ora, la possibilità di effettuare corse non perfettamente verticali. Esistono tuttavia alcuni esempi di ascensori semi-verticali, come quelli installati sui piloni di base della Tour Eiffel. Questi devono però essere considerati delle funicolari e sono caratterizzati da una velocità molto contenuta e da accelerazioni e decelerazioni debolissime.



**L'IMPORTANZA DELLE FONDAZIONI  
GRATTACIELI NON SIMMETRICI  
POSSONO ESSERE CARATTERIZZATI  
DALLA DISOMOGENEA DISTRIBUZIONE  
DEI CARICHI DI FONDAZIONE: IL SUOLO  
DOVRÀ RESISTERE SIA A SFORZI DI  
TRAZIONE, SIA DI COMPRESSIONE.**

sul retro delle torri. Al momento, il complesso spagnolo rappresenta il più grande esempio di edifici fuori piombo autonomi, in cui cioè la sola struttura sorregge l'intera costruzione senza bisogno di "appoggi" esterni. Qualora presenti, questi possono assumere la forma di puntoni (come nell'edificio KPN di Piana) o di intere parti di edificio, che rendono ancora più complessa la geometria della costruzione; in questo caso, la parte fuori piombo funziona come una trave sorretta dai due volumi principali del grattacielo. Nonostante siano molte le proposte di edifici con superfici fuori piombo risultano comunque, per ora, poche realizzazioni, a causa degli extra-costi dovuti, principalmente, alla soluzione dei complessi aspetti strutturali.

#### **Spiraleggianti**

Ben altra diffusione stanno avendo invece i grattacieli a forma spiraleggiante: al progredire dell'altezza, la pianta dell'edificio ruota di qualche grado rispetto ai solai precedenti, secondo un angolo costante o casuale. Grazie a questo procedimento, l'edificio riesce a trasmettere un'impressione di "leggerezza" e dinamismo che

di fatto rinnega completamente "l'immagine solida e solenne delle torri nere degli anni '70: nel Turning Torso di Santiago Calatrava è esplicito il riferimento (sia nel nome che nella volumetria) al busto ruotato di una ballerina. Sono numerosi gli architetti che hanno sfruttato la progressiva rotazione dei solai nella morfogenesi dei loro progetti di grattacieli. L'esempio più celebre è probabilmente la Absolute Tower progettata in Canada dallo studio MAD. L'andamento sinuoso del grattacielo, grazie alla rotazione solo apparentemente casuale delle piastre ellittiche di cui è composto il solaio, si inserisce in maniera meno massiva nel contesto, creando una figura scultorea di sicuro impatto, tanto da essere stata definita "sexy" dalla stampa locale. La progressiva rotazione dei solai pone anche in questo caso dei limiti alla distribuzione spaziale. Non potendo prescindere dalla verticalità del service core, si pone all'architetto il problema di gestire gli spazi di forma irregolare derivanti dalla rotazione dei solai. La soluzione comunemente adottata consiste nella realizzazione di un service core circolare e, spesso, nell'utilizzo di una pianta circolare o ellittica per tutto l'edificio. Il nucleo centrale di forma circolare prevede però la presenza, soprattutto nel caso di edifici residenziali, di un corridoio di distribuzione separato dagli alloggi da un altro muro, concentrico al primo, che raccoglie l'impiantistica dell'edificio. La presenza del corridoio riduce fortemente l'efficienza d'uso dello spazio del grattacielo, espressa dal rapporto tra superficie utile e superficie totale costruita (NRA / GFA). Inoltre, il posizionamento del service core è maggiormente vincolato rispetto agli altri tipi di strutture: esso infatti viene solitamente collocato in prossimità del punto centrale dell'edificio, dove la rotazione è nulla. Oltre alla verticalità, il service core richiede anche un orientamento costante ed è pertanto impossibile realizzare dei grattacieli in cui anche il percorso degli ascensori segua l'andamento a spirale della costruzione: così facendo, si verrebbero a creare delle forze centrifughe non compatibili con l'equilibrio e il comfort dei passeggeri trasportati.

#### **Il sistema strutturale per rastremati e spiraleggianti**

La realizzazione di edifici dalle forme inusuali comporta la soluzione di aspetti strutturali tanto impegnativi quanto maggiore è la complessità

della loro geometria. La problematica che i progettisti devono tenere in considerazione risiede, più che nelle reali difficoltà tecnologiche e strutturali, nel contenimento dei costi di progettazione, produzione e cantierizzazione di questi edifici. Grazie alle accresciute possibilità di calcolo e a un'approfondita conoscenza dei limiti tensionali dei materiali, è infatti possibile realizzare geometrie nemmeno immaginabili fino a pochi decenni fa, quando la costruzione dei grattacieli era vincolata alla schematica semplicità delle strutture a telaio rigido.

Tra le tre famiglie di forme prese in esame, i grattacieli rastremati sono quelli che comportano sia dal punto di vista strutturale che compositivo-distributivo il minor numero di problemi. In tali strutture infatti, si assiste a una progressiva riduzione del peso al crescere dell'altezza, in conseguenza della progressiva diminuzione della volumetria edificata. Questa condizione contribuisce a migliorare la stabilità dell'edificio ai carichi orizzontali contrapponendo, a un basamento tozzo e pesante, una sommità più snella e leggera. Gli effetti dei carichi orizzontali sono infatti un fattore critico nella progettazione di un grattacielo: oltre una certa altezza, le sollecitazioni generate dal vento e dai sismi superano per importanza quelle verticali dovute alla forza di gravità. Una minore dimensione della parte alta del grattacielo riduce dunque la massa soggetta alle sollecitazioni di un eventuale sisma e, in contemporanea, diminuisce la superficie che oppone resistenza al vento, la cui intensità cresce invece proporzionalmente all'altezza.

Questi effetti positivi non sono però riscontrabili anche nelle altre due famiglie di grattacieli dove invece la sagoma dell'edificio deve essere attentamente progettata facendo ricorso a simulazioni e a prove (galleria del vento) per verificare gli effetti di una geometria irregolare sulla formazione dei vortici d'aria. Al di là di questo, esistono tuttavia degli aspetti positivi derivanti, proprio in risposta al vento, da una forma irregolare, a prescindere dall'andamento inclinato, spiraleggiante o rastremato: l'aerodinamicità del grattacielo.

La struttura degli edifici spiraleggianti è sottoposta a varie sollecitazioni, dovendo resistere oltre alla forza di compressione e di flessione (come nei normali grattacieli) anche a una forza di torsione di notevole intensità. È infatti comune, nei grattacieli aventi una progressiva rotazione dei

## Andamento spiraleggiante

La torre "la Phare", che vedrà la luce nel 2012 a Parigi, diventerà, con i suoi 300 metri di altezza, il grattacielo più alto della Francia e uno dei più grandi d'Europa. La forma irregolare della struttura portante sarà realizzata con una maglia a "diagrid" in acciaio. La struttura a "diagrid", recentemente utilizzata per numerosi grattacieli tra i quali la Hearst Tower di New York o la Swiss Re a Londra (entrambi di N. Foster), è la soluzione più adatta per coniugare libertà espressiva ed economicità di costruzione. (Foto: D.T.)



La "torre B" del complesso Citylife di Milano, progettata da Zaha Hadid, avrà un andamento spiraleggiante. Al variare della quota (in questo caso 61 e 164 metri) è possibile apprezzare la progressiva rotazione del solaio.

Anche in questo, come in tutti i grattacieli, il nucleo strutturale (in blu nel disegno a lato) contenente gli ascensori deve mantenere una perfetta verticalità e un'orientazione costante, per consentire il corretto funzionamento degli apparati meccanici interni. Lo spazio più perimetrale (in giallo), destinato alle superfici utilizzabili dell'edificio, segue l'andamento rotatorio

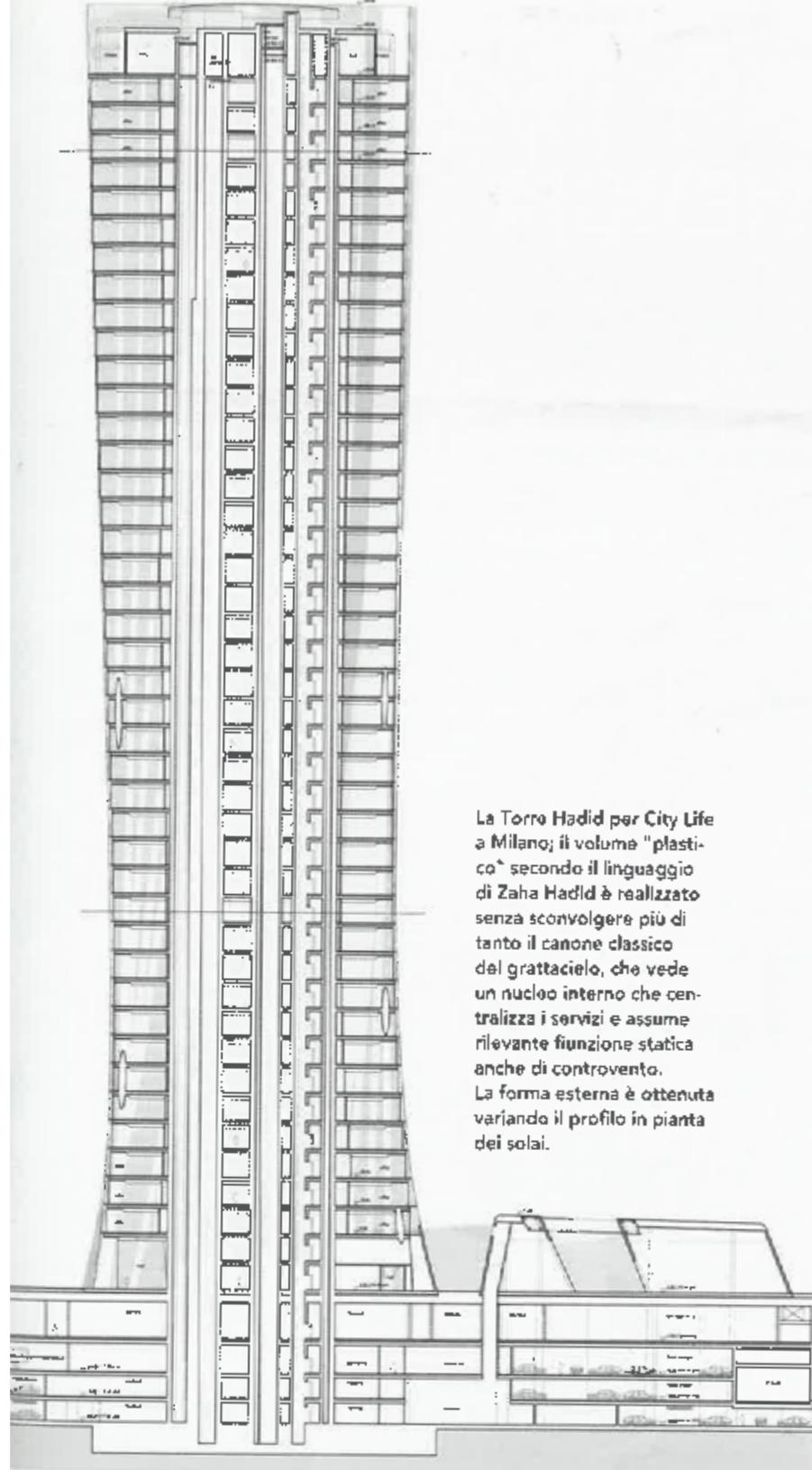
della geometria generale. Tra i due elementi, gli spazi destinati ai servizi minori (in verde, comprendenti: bagni, disimpegni, locali tecnici e corridoio di distribuzione) fungono da strato "cuscinetto", armonizzando le differenze geometriche date dalla rotazione dell'edificio.

Nei disegni riportati è possibile apprezzare la progressiva diminuzione dello spessore degli elementi strutturali. Al core centrale è affidata la funzione di controventamento e di resistere alla torsione dell'edificio generata, oltre che dai normali carichi orizzontali agenti su un grattacielo, anche dalla risultante dei carichi agenti sulle dalle colonne perimetrali inclinate.

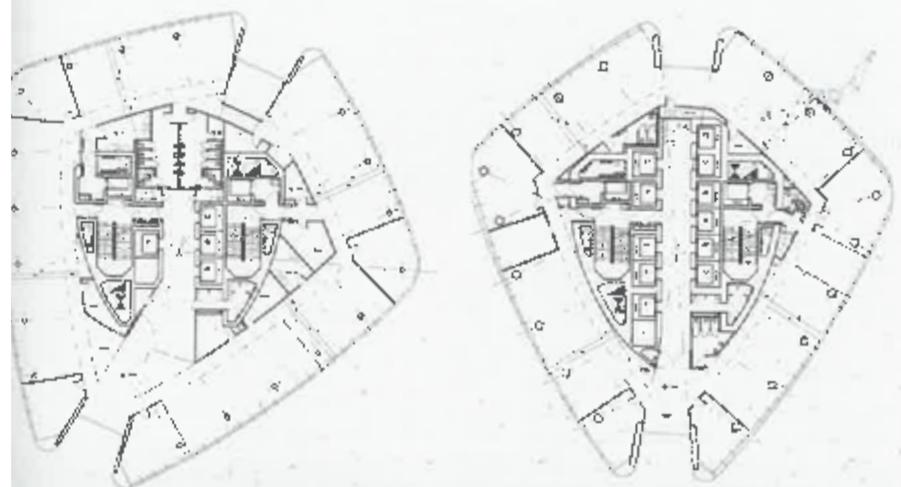
## SIMULAZIONI

### PROVE IN GALLERIA DEL VENTO E ALTRI TEST DEVONO VERIFICARE GLI EFFETTI DELLE GEOMETRIE IRREGOLARI SULLA FORMAZIONE DEI VORTICI D'ARIA.

solai, riproporre lo stesso andamento anche nelle strutture di evasione verticali, specialmente quando queste diventano elementi generatori della geometria dell'involucro. A causa dell'andamento spiraleggiante, il peso dell'edificio tende a far ruotare le varie sezioni su se stesse, costringendo la struttura a resistere a questa forza torcente aggiuntiva. Se poi la volumetria dell'edificio è tale da favorire un incanoamento del vento, anche questa componente deve essere tenuta in considerazione. Il problema della rotazione può essere risolto mantenendo gli elementi della struttura verticali e lasciando ai solai e al disegno della facciata il compito di attribuire all'edificio l'impressione di una geometria a spirale. In alternativa, qualora anche le colonne risultino inclinate, devono essere



La Torre Hadid per City Life a Milano; il volume "plastico" secondo il linguaggio di Zaha Hadid è realizzato senza sconvolgere più di tanto il canone classico del grattacielo, che vede un nucleo interno che centralizza i servizi e assume rilevante funzione statica anche di controvento. La forma esterna è ottenuta variando il profilo in pianta dei solai.



## MATERIALI

**ACCIAIO PER GLI INCLINATI, CLS PER GLI SPIRALEGGIANTI: NEL PRIMO CASO SI CONOSCE MEGLIO IL COMPORTAMENTO GEOMETRICO SOTTO SFORZO, NEL SECONDO UN CORE IN CLS DI GRANDI DIMENSIONI È IN GRADO DI CONTRASTARE LA TORSIONE DELL'EDIFICIO.**

adottati opportuni accorgimenti per contrastare la torsione.

La prima soluzione è la realizzazione di un core in calcestruzzo di grandi dimensioni (che ingloba per esempio anche il corridoio di distribuzione) e che sia in grado di contrastare le tensioni dell'edificio. In alternativa, è possibile realizzare un secondo ordine di colonne con un andamento contrario rispetto a quelle principali (annullando, di conseguenza, a componente orizzontale della forza prodotta). Per contrastare l'eventuale forza del vento è addirittura opportuno, in alcuni edifici, realizzare i pilastri con un andamento contrario al senso di rotazione della torre; questa soluzione, oltre a ridurre gli sforzi sulla struttura, aggiunge alle facciate un ulteriore elemento di dinamicità.

## Il sistema strutturale per gli inclinati

La soluzione dei problemi strutturali è invece più complessa negli edifici inclinati; una delle criticità principali per la realizzabilità e il bilancio economico di queste strutture è la qualità del suolo su cui l'edificio dovrà sorgere.

La costruzione di grattacieli non geometricamente simmetrici può infatti portare a una disomogenea distribuzione dei carichi alle fondazioni, che devono pertanto poggiarsi su un suolo in grado di resistere sia a sforzi di trazione che di compressione (Scott D., "The effects of complex geometry on tall towers", The structural design of tall and special buildings, volume 16; 2007). Al fine di prevenire la disomogenea distribuzione dei pesi, e per evitare la costruzione di opere di fondazione eccessivamente costose, lo stratagemma più comunemente utilizzato consiste nel realizzare edifici asimmetrici solo dal punto di vista geometrico ma che abbiano invece un bilanciamento delle masse sostanzialmente equilibrato rispetto al baricentro strutturale.