

**Il ruolo strategico del service core
nel bilancio energetico
di un edificio alto**



Il ruolo strategico del *service core* nel bilancio energetico di un edificio alto

Dottorando: Dario Trabucco - XXI Ciclo

Tutor: Prof. Giovanni Zannoni

Abstract

L'elemento fondamentale e caratteristico di un grattacielo è senza dubbio il *service core*, ovvero il nucleo di connessione che attraversa verticalmente l'intero edificio. Il *service core* è occupato in gran parte dagli elementi di comunicazione verticale (ascensori e scale), ma svolge però altre importanti funzioni: molto spesso esso è infatti circondato da un "guscio" (core) strutturale al quale è affidata la resistenza dell'edificio ai carichi orizzontali generati dal vento e dai sismi. All'interno del *service core* trovano inoltre alloggio tutti i principali cavetti di ventilazione, le reti di servizio (elettricità, fluidi, dati ecc), e gli spazi meno pregiati di un grattacielo come i servizi igienici, magazzini, ripostigli, ecc.

La corretta progettazione del *service core* è fondamentale per il funzionamento del grattacielo e i principali attori coinvolti nella realizzazione di un edificio alto sono direttamente interessati dalle caratteristiche di questo complesso elemento. Oltre ai progettisti e agli specialisti delle varie discipline tecniche, l'efficiente progettazione del *service core* risulta cruciale anche per un'altra figura chiave del processo che porta alla costruzione di un grattacielo: il developer, ossia la figura professionale che si fa carico delle esigenze degli utenti. Il *service core* si presenta infatti come l'elemento chiave anche nel successo economico della costruzione, poiché dalla sua corretta progettazione dipende il rapporto di efficienza dell'utilizzo dello spazio (superficie netta commerciabile / superficie totale costruita).

Nonostante la sua importanza, il *service core* viene però troppo frequentemente visto dagli architetti come un elemento secondario, una componente esclusivamente tecnica del progetto, "estranea" alle competenze e agli interessi dell'architettura. La sua messa a punto viene dunque lasciata agli specialisti delle varie discipline (ingegneri strutturisti, trasportisti, progettisti degli impianti tecnici, ecc.), ognuno dei quali è responsabile della definizione degli elementi di sua competenza e il risultato finale è spesso dato dalla semplice somma delle singole componenti. In questo modo vengono meno due aspetti fondamentali: l'integrazione funzionale degli elementi progettuali e la possibilità di una evoluzione tipologica di questo elemento.

La presente ricerca si prefigge l'obiettivo di sistematizzare le nozioni disponibili riguardanti la progettazione del *service core* di un edificio alto per fornire, ai destinatari dello studio, gli strumenti necessari a comprendere il ruolo fondamentale che questo elemento e le sue singole componenti svolgono nel bilancio energetico di un grattacielo.

Indice

Introduzione	5
<i>Inquadramento del tema della ricerca</i>	7
Il contesto culturale del tema degli edifici alti	7
Il contesto scientifico	9
Limitazione del campo di indagine	10
Parole chiave	11
Obiettivi della ricerca	13
Cenni sulla metodologia applicata	14
Criticità della ricerca e fasi di verifica dei risultati.	15
Destinatari della ricerca	16
Struttura della ricerca	17
Il grattacielo oggi: gli approcci progettuali e la sfida della sostenibilità	19
<i>La progettazione di un edificio alto</i>	21
Le “spinte” che guidano il progetto	21
Il programma	24
L’approccio compositivo	25
L’approccio tecnologico alla progettazione	28
L’approccio integrato	30
<i>I consumi energetici di un edificio alto</i>	37
Elementi che influenzano il bilancio energetico di un grattacielo	37
Determinazione delle voci di consumo di un grattacielo	38
Analisi e interpretazione dei dati	43
<i>L’evoluzione dei consumi: 5 generazioni di edifici alti</i>	47
L’evoluzione dei consumi	47
La prima generazione: dalla nascita dei grattacieli alla Zoning Law	47
La seconda generazione: dal 1916 alla diffusione dei Curtain Wall vetrati	48
La terza generazione: dal 1951 alla prima crisi energetica.	51
La quarta generazione: dal 1974 al presente	52
La quinta generazione: dal 1997 ai giorni nostri; una nuova generazione in via di affermazione.	54
5 generazioni di grattacieli a confronto.	55
<i>L’embodied energy di un grattacielo</i>	59
L’embodied energy: un fattore critico degli edifici alti.	59
Il premium for height	59
La scelta del sistema strutturale	62
La riduzione del rapporto di efficienza di utilizzo dello spazio.	63
La scelta dei materiali impiegati;	64
La tecnologia del sistema di involucro.	65

Il service core: definizione ed evoluzione storica e funzionale	71
La definizione di service core	73
Tante definizioni per descrivere le peculiarità del service core	73
Core o service core? La scelta del nome	74
La definizione proposta per "service core"	75
Gli spazi serviti e gli spazi serventi	77
Uno spazio servente dell'edificio	77
Il trasporto verticale	78
Evacuazione	81
Struttura	86
Distribuzione impiantistica	90
L'evoluzione storica del service core	93
Storia di due città	93
Primi esempi di service core	97
Le torri di Manhattan	100
Il ruolo del service core nell'immagine del grattacielo	104
Le innovazioni tecnologiche alla base del moderno service core	106
Le tipologie di service core esistenti	111
Service core interno	111
I trend progettuali innovativi: l'abbandono della posizione interna/centrale del service core	116
Service core perimetrali	120
Service core esterno	121
Service core Multipli / Diffusi	124
Le nuove funzioni: Ventilazione, inerzia termica e ombreggiamento	125
Le relazioni del service core con il resto dell'edificio	131
Il progetto del service core	131
Il service core come elemento visibile	132
Il service core come elemento invisibile: effetti sulla forma dell'edificio	133
Service core e chiusure verticali: la ventilazione.	137
Service core, chiusure e partizioni interne: l'effetto camino	138
Il service core nel bilancio energetico di un edificio alto	141
Strumenti e finalità dell'analisi	143
Il ruolo del service core nel dibattito sugli edifici alti	143
Influenza del service core sul bilancio energetico	148
I limiti dell'analisi tradizionale e la proposta metodologica.	149
Il metodo di reperimento dei dati	152
Il service core e l'embodied energy di un grattacielo	155
L'efficienza d'uso dello spazio: NRA / GFA	155
I criteri di progettazione	158
Il sistema di organizzazione degli ascensori	159

Lo schema e i materiali delle strutture	162
Il sistema di ventilazione	164
Le "invariabili" del sistema: vie di fuga, servizi igienici e spazi accessori	165
<i>Il service core e i consumi energetici del grattacielo.....</i>	169
La distribuzione spaziale e lo sfruttamento dei carichi termici	169
I consumi energetici degli ascensori	170
I consumi energetici dei servizi igienici	172
I consumi di energia del sistema di condizionamento	173
<i>L'importanza del posizionamento del service core.....</i>	177
La simulazione effettuata	177
Un bilancio inatteso	182
Conclusioni	183
<i>I risultati dell'analisi.....</i>	185
Il grattacielo: attenzioni particolari per un edificio particolare	185
L'importanza del dialogo tra i progettisti e il ruolo fondamentale dell'architetto	187
La semplicità del progetto e l'ordine di importanza delle scelte	189
Sulla strada della sesta generazione di grattacieli	190
Conclusioni	193
Tabella riassuntiva dei risultati della ricerca	194
Bibliografia	197
Crediti	202
Indice delle immagini	202
Indice delle tabelle	206
Ringraziamenti	207



Introduzione



Inquadramento del tema della ricerca

Il contesto culturale del tema degli edifici alti

Il grattacielo può essere visto come una delle più importanti tipologie edilizie “inventate” nel XX secolo. Nonostante la sua nascita possa essere fissata nel XIX secolo, è solo nel corso del '900 che gli edifici alti si sono sviluppati come tipologia edilizia codificata, facendo la loro comparsa prima nelle città americane e diffondendosi poi, dal Secondo Dopoguerra in avanti, in tutte le principali aree metropolitane del mondo.

Al di fuori degli Stati Uniti, i grattacieli sono stati spesso considerati, soprattutto in Europa, come una tipologia edilizia “negativa”. Le ragioni che spiegano una così diffusa avversione possono essere ricercate nelle considerazioni di carattere tecnico e tipologico (la scala dell'intervento, gli elevati consumi di energia e di materie prime necessari, le condizioni di lavoro al loro interno ecc.). Tuttavia, si deve riconoscere che le più aspre obiezioni possono essere ricondotte a motivazioni ideologiche, dovute a un generale scetticismo nei confronti di una tipologia edilizia che può essere considerata il simbolo più forte dell'architettura e dello stile di vita americano. La costruzione di edifici alti è osteggiata dell'opinione pubblica a causa dell'immagine negativa trasmessa dai mass media, dove il grattacielo è solitamente utilizzato per evocare sentimenti di disagio come è possibile riscontrare nei film *Metropolis* (1927), *Inferno di Cristallo* (1974) e *Blade Runner* (1984), solo per citarne alcuni. Gli eventi drammatici dell'11 Settembre 2001, enfatizzati dal macabro sensazionalismo con il quale sono state riproposte le immagini del crollo delle Torri Gemelle di New York, hanno suscitato fortissime emozioni sia tra i comuni cittadini, sia tra le numerose figure coinvolte a livello professionale o accademico nel settore degli edifici alti. Sulla scia delle paure scaturite da questi eventi si è arrivati addirittura a ipotizzare¹ la fine del grattacielo come tipologia edilizia, prevedendo perfino lo smantellamento delle torri esistenti. Tuttavia analisi di questo tipo, influenzate dai timori di nuovi attentati e dal sentimento di “rivalsa” nei confronti di una tipologia investita di una forte simbologia socio-politica, non tengono nella dovuta considerazione l'enorme potenziale economico insito nei grattacieli. Queste teorie “disfattiste” sono state smentite nei fatti dal *boom* senza precedenti che sta vivendo l'industria delle costruzioni degli edifici alti².

La crescente attenzione rivolta al tema del grattacielo, anche da parte delle amministrazioni di alcune città fino a poco tempo fa contrarie, è dovuta a una serie di considerazioni sociali e urbanistiche molto variegata. L'edificio alto trova ragione di essere in risposta a una molteplicità di interrogativi che

Img. 0.01 - Chicago è la città che forse più di tutte ha beneficiato della presenza dei grattacieli, storici o moderni. Gli edifici, che qui videro la luce oltre un secolo fa, sono i veri "monumenti" della metropoli americana, principale attrazione turistica e ricreativa. Il sapiente controllo dello skyline da parte dell'amministrazione ha contribuito a creare delle viste caratteristiche celebrate da molti film e foto d'autori famosi.



si stanno presentando sempre più frequentemente alle società industrializzate del mondo. I prezzi elevati dei lotti urbani edificabili, la necessità di concentrare le attività lavorative intorno ai nodi principali delle reti di trasporto e le dimensioni raggiunte dalle imprese operanti in numerosi ambiti del settore terziario (banche, assicurazioni, società di servizi, ecc.), sono solo alcune delle motivazioni "utilitaristiche" che spingono a credere che i grattacieli diventeranno delle figure sempre più frequenti nel panorama delle metropoli di tutto il mondo. Parallelamente a queste riconosciute motivazioni pratiche, si deve riconoscere che un edificio alto ha inoltre un ruolo importante come elemento di *landmark* urbano, valorizzando sia le aree limitrofe all'intervento che l'intero *skyline* della città, con effetti positivi sul turismo, sulle rendite immobiliari e sul carattere stesso di una città. Inoltre, l'edificio alto è fortemente richiesto dai gruppi imprenditoriali che operano nel mercato dell'edilizia, grazie alle elevate rendite che l'investimento è in grado di produrre.

In questo contesto ricco di contrapposizioni, il dibattito sulla sostenibilità dell'edificio alto sta suscitando una crescente attenzione sia da parte dei detrattori che dei sostenitori di questa tipologia edilizia. I suoi detrattori indicano il grattacielo come un manufatto "inquinante", caratterizzato dagli elevati consumi di energia e dai grandi quantitativi di materiali impiegati per la sua costruzione; i suoi sostenitori puntano invece sull'effetto di densificazione urbana che è possibile ottenere grazie ai grattacieli, e sulle conseguenti ricadute positive ottenibili a grande scala.

I grattacieli, superato completamente lo *shock* di immagine dato dalla tragedia americana dell'11 Settembre, sono oggi al centro di una vera e propria "moda". Di grattacieli si parla moltissimo in internet, in televisione e addirittura nelle riviste di costume certamente non dedicate a un pubblico specializzato. La veridicità e la completezza di tali informazioni possono sollevare notevoli dubbi sull'affidabilità delle conclusioni a cui si giunge,

conclusioni che sono spesso all'origine di giudizi che nuocciono alla formazione del contesto culturale con il quale una coerente analisi di tipo scientifico si deve confrontare.

Il contesto scientifico

L'edificio alto è una tipologia edilizia estremamente articolata, caratterizzata dalla simultanea rilevanza di questioni stilistiche, strutturali e tecnologiche che non possono prescindere una dalle altre. La complessità di queste discipline ha generato forti contrapposizioni e problemi di comunicazione tra i vari detentori delle competenze scientifiche; queste "incomprensioni" sono alla base di una delle maggiori criticità dell'attuale analisi scientifica della tematica del grattacielo: l'astrazione. Infatti, è spesso possibile riscontrare una eccessiva suddivisione dell'edificio in elementi (unità tecnologiche) indipendenti, che vengono analizzati di volta in volta adottando la metodologia propria della disciplina scientifica in questione. Tramite questa suddivisione e specificazione, che da un lato consente di raggiungere degli approfonditi livelli di analisi, si ottiene, dall'altro, la perdita dei legami di relazione e di funzione che ogni parte del manufatto ha con le rimanenti. Il grattacielo, proprio a causa della sua complessità, richiede un'analisi multidisciplinare che sia in grado di cogliere le caratteristiche e le peculiarità delle varie discipline coinvolte al fine di non sottovalutare i nessi tra loro esistenti che un approccio troppo specialistico rischia invece di non cogliere. Questa condizione trova un riscontro ancor più importante nell'analisi della "questione sostenibilità" di un edificio alto. Il dibattito su questo aspetto della progettazione, relativamente nuovo soprattutto per i grattacieli, ha colto impreparati numerosi settori professionali e industriali; la richiesta di "edifici verdi" da parte dell'opinione pubblica ha portato molti professionisti a cimentarsi con delle tematiche fino a pochi anni fa mai affrontate, alle quali sono state applicate metodologie di analisi superate o non consone. La confusione sull'argomento del dibattito, unita a una generale superficialità della stessa opinione pubblica, hanno provocato una distorta percezione della tematica della sostenibilità, dandole spesso il riduttivo connotato di "consumo energetico". Spesso, infatti, la parola "sostenibilità" viene spogliata dei complessi significati che sottintende, legati questi non al semplice consumo energetico ma a un'articolata serie di connotati economici, sociali, ambientali e psicologici. Tuttavia, il consumo energetico è, tra tutte le sfaccettature della sostenibilità quella più facilmente quantificabile, misurabile empiricamente osservando semplicemente la riduzione della "bolletta" che alcune strategie sono in grado di produrre. Nel tentativo di far apparire gli edifici alti e ogni loro singolo sub-componente come "sostenibile", sono stati redatti dei progetti e delle analisi che, ammiccando

più al *marketing* che ai principi espressi dalla Brundtland Commission, travisano la reale importanza delle tematiche ambientali e i vantaggi generalizzati derivanti da una loro più completa comprensione.

Limitazione del campo di indagine

L'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)³ individua tre linee di azione per ridurre le emissioni provenienti dall'edilizia, notoriamente uno dei settori più inquinanti delle attività umane:

! La riduzione dei consumi d'uso e dell'embodied energy degli edifici

! Il passaggio a forme di combustibili a minor rilascio di anidride carbonica (compreso un accrescimento nell'utilizzo di forme rinnovabili)

! Il controllo delle altre emissioni inquinanti prodotte dalla combustione o dall'attività edilizia in generale.

La riduzione dell'impatto delle emissioni inquinanti nell'atmosfera viene raggiunta nel settore edile tramite la riduzione dei consumi energetici del costruito. Indipendentemente dal raggiungimento di encomiabili obiettivi ambientali, il diffuso consenso che sta portando all'adozione di soluzioni mirate alla riduzione dei consumi trae origine dalle indiscutibili e attraenti economie di gestione degli edifici che è in grado di garantire.

La presente ricerca si pone l'obiettivo di affrontare esclusivamente le tematiche espresse nel primo punto, limitando il campo di studio agli edifici alti e, in particolare, alle azioni specifiche che il progettista può intraprendere nella progettazione del *service core* di un grattacielo.

Dall'analisi saranno pertanto escluse le azioni non espressamente concepite per gli edifici alti, ovvero quelle che possono essere applicate a qualunque fabbricato indipendentemente dal "concetto" della sua altezza.

Sono numerosi i campi di indagine da esplorare per comprendere il funzionamento di un edificio alto. Inespugnabilmente, uno dei settori meno studiati è rappresentato dall'"elemento" che contraddistingue questa tipologia edilizia: il *service core*, ovvero il corpo di connessione verticale che contiene gli ascensori e i servizi necessari al funzionamento del grattacielo. Una sua definizione più precisa verrà data nei capitoli successivi ma è importante comprendere fin da subito il ruolo fondamentale che esso ricopre. Ogni piano di un edificio alto è infatti in tutto simile agli altri e, in linea generale, le sue caratteristiche (costruttive, tecnologiche e di gestione) sono indipendenti dall'altezza a cui viene realizzato. L'elemento che invece contraddistingue un grattacielo da un edificio tradizionale è invece il *service core*, che viene spesso rappresentato figurativamente come la spina dorsale e il sistema di circolazione della costruzione.

La presente ricerca propone un'analisi del *service core* dei grattacieli affrontando, tramite un approccio multidisciplinare, lo studio delle sue caratteristiche principali e del ruolo occupato nella determinazione del consumo energetico e dell'*embodied energy* dell'edificio.

In letteratura esistono innumerevoli studi monodisciplinari che affrontano le principali tematiche dei servizi e delle unità tecnologiche in esso contenute (ascensori, struttura verticale, sistemi di ventilazione ecc). L'aspetto originale della ricerca proposta risiede invece nel suo approccio multidisciplinare, mirato a cogliere i nessi e le relazioni spesso trascurati dalle discipline specialistiche. L'approccio proposto non pretende di studiare il *service core* in maniera esaustiva, ma analizza lo stato dell'arte delle singole discipline coinvolte e ricostruisce i legami e le relazioni perse dalle analisi monodisciplinari richiamando, dove necessario, gli studi specialistici consultati.

Parole chiave

Edificio alto - grattacielo

Edificio alto e grattacielo (come traduzione di *tall building* e *skyscraper*) sono sinonimi. Esistono varie definizioni utilizzate per descrivere un edificio alto o un grattacielo, basate sull'individuazione di un'altezza assoluta o di un'altezza relativa. Le definizioni basate sul concetto di un'altezza assoluta derivano prevalentemente dalle normative antincendio (altezza antincendio dell'edificio) e sono pertanto variabili nel tempo e da Paese a Paese. Le definizioni basate sull'altezza relativa individuano come edifici alti i fabbricati sostanzialmente più alti degli edifici che li circondano, in base a un semplice rapporto dimensionale. E' facile capire come questa definizione sia poco rigorosa e possa generare numerosi malintesi e fraintendimenti.

La definizione più convincente ed efficace è stata però data da Lynn Beedle⁴, fondatore del Council On Tall Buildings and Urban Habitat, secondo la quale un grattacielo è:

"Un edificio nel quale il concetto dell'altezza influenza direttamente le principali scelte di carattere architettonico, strutturale, impiantistico, costruttivo e di funzionamento."

Questa definizione, che concentra l'attenzione su una caratteristica qualitativa più che quantitativa dell'altezza, sintetizza al meglio le peculiarità di questa tipologia edilizia.

Service core

Non esiste una definizione univoca di *service core*, perché ogni figura professionale coinvolta nella realizzazione di un edificio alto intende questo

elemento in modo diverso. Il *service core* può per esempio venir definito come “tutto ciò che non è affittabile” da un *developer* oppure come l'insieme dei sistemi di trasporti verticali da un ingegnere dei trasporti. Le definizioni incontrate puntano in ogni caso l'attenzione sulla funzione servente del *service core* rispetto alle altre parti dell'edificio. Per affrontare la trattazione in modo coerente è stato necessario costruire una definizione che riunisse i concetti trasmessi dalle definizioni settoriali riscontrate durante la ricerca. Il *service core* verrà dunque definito nel prosieguo come:

“Un aggregato di spazi e unità tecnologiche necessarie al funzionamento di un grattacielo, organizzate in una sequenza verticale che si sviluppa su più piani, atta a conferire un elemento di continuità fisica, funzionale e visiva all'edificio.”

Core - Services - Sub services

Il *service core* è suddiviso in tre sotto-gruppi, in base alla funzione che ogni elemento svolge. La definizione più precisa delle varie parti verrà data in seguito, ma un breve accenno permette di introdurre alcuni successivi concetti in maniera più chiara:

Core: è il nucleo solido e strutturale dell'edificio, che conferisce al *service core* l'immagine massiva a cui spesso viene associato.

Services: sono gli elementi base presenti inevitabilmente in tutti i grattacieli e costituiscono gli apparati fondamentali per il funzionamento dell'edificio: ascensori, scale di sicurezza, condotte di ventilazione ecc.

Sub services: rappresentano gli spazi minori di servizio all'interno dei quali sono inseriti gli impianti necessari al funzionamento dell'edificio ma serventi nei confronti di esso e degli elementi contenuti nel *service core*.

Efficienza della progettazione

In un grattacielo, non tutta la superficie realizzata è direttamente sfruttabile per gli scopi che hanno portato alla costruzione dell'edificio. Gli spazi serventi dell'edificio, ovvero quelli che costituiscono il *service core*, influenzano l'efficienza della progettazione, espressa dal rapporto NRA / GFA. La NRA (*Net Rentable Area*, superficie netta affittabile) rappresenta la superficie effettivamente utilizzabile dell'edificio; la GFA (*Gross Floor Area*, superficie totale lorda) è invece la superficie totale dell'edificio costruito.

Il rapporto NRA / GFA ricopre un ruolo fondamentale nel bilancio economico di un grattacielo e viene utilizzato, fin dalle fasi iniziali del progetto, come parametro di controllo finanziario. Inoltre, come varrà dimostrato dalla ricerca proposta, il rapporto NRA / GFA può essere considerato come un parametro in grado di influenzare fortemente la “sostenibilità” del grattacielo.

Obiettivi della ricerca

La tesi si propone di rispondere ad alcuni quesiti, relativi al ruolo e alla progettazione del *service core*.

Il primo interrogativo al quale la presente ricerca cerca di dare una risposta è relativo al ruolo ricoperto dal *service core* dell'edificio alto. Prima ancora di affrontare quest'analisi è utile creare una nuova definizione di *service core* che riassume e sintetizzi quelle riscontrate in letteratura, ognuna delle quali formulata da figure operanti all'interno di uno specifico ambito di competenze. Le definizioni trovate, spesso in contrasto tra loro, contribuiscono a rendere complessa la trattazione delle tematiche relative al *service core*, elemento spesso oscuro e sulla progettazione del quale incidono spesso conflitti di competenza tra le varie discipline coinvolte.

Definito e individuato con precisione l'oggetto di studio della ricerca, la tesi si propone di sondare le origini storiche di questo elemento, per comprendere le funzioni che sono state progressivamente accorpate per creare il moderno *service core*.

Il terzo quesito è relativo all'individuazione delle varie tipologie di *service core* esistenti. La precedente analisi storica ha infatti permesso di individuare alcune caratteristiche costanti che fanno parte della tradizionale prassi progettuale di questo elemento. L'osservazione di alcune proposte progettuali recenti permette di individuare delle soluzioni "alternative" che interrompono sotto molti aspetti la tradizione progettuale dei grattacieli. Grazie all'analisi tipologica condotta, inoltre, è possibile individuare le funzioni aggiuntive che possono essergli attribuite grazie a una sua diversa progettazione.

Un ulteriore punto che intende essere chiarito da questo studio è il ruolo assunto dal *service core* nel bilancio energetico di un grattacielo. Come sottolineato in precedenza la tesi punta a indagare l'intero ciclo di vita del grattacielo, estendendo dunque l'analisi sia all'energia impiegata per il normale funzionamento della costruzione sia l'energia immagazzinata durante le fasi di produzione e cantierizzazione all'interno dei materiali di cui è costituito.

Infine, l'ultima parte della tesi cerca di comprendere quale siano gli accorgimenti progettuali necessari alla realizzazione di un *service core* efficiente, in modo che questo abbia il minor impatto possibile sui consumi e sull'*embodied energy* del grattacielo.

La tesi cercherà di chiarire questi punti attraverso lo studio del *service core* come elemento unitario, formato dall'aggregazione di unità tecnologiche e di spazi. Tale approccio, che come evidenziato in seguito è stato raramente applicato al *service core* producendone analisi settoriali e parzialmente

equivocche, fornisce una dettagliata descrizione multidisciplinare di questo elemento tanto importante nel progetto di un grattacielo. L'obiettivo ultimo è quello di cogliere le relazioni esistenti tra le varie parti del *service core*, in particolare per quanto attiene il ruolo che le scelte progettuali compiute su di esso hanno nei confronti dei consumi di funzionamento e dell'*embodied energy*.

La ricerca è supportata da alcune fasi propedeutiche che spaziano su un più ampio campo di analisi, finalizzate al raggiungimento di obiettivi che, seppur parziali, sono comunque rilevanti ai fini della conoscenza di questa tipologia edilizia e del *service core* in particolare.

L'analisi bibliografica, in particolare, ha messo in evidenza l'assenza di una definizione univoca di *service core* che sia in grado di includere le specificità delle diverse discipline coinvolte. Un primo obiettivo della tesi è dunque di fornire una descrizione che permetta di identificare in maniera univoca l'oggetto della ricerca, per poterne successivamente delineare l'evoluzione storica e le relazioni con le rimanenti parti dell'edificio.

L'analisi delle ricadute delle scelte progettuali sui consumi di funzionamento e sull'*embodied energy* di un grattacielo non può prescindere dalla conoscenza dei dati generali dell'edificio. La determinazione di questi valori, difficilmente reperibili in letteratura, può costituire una base di dati utile alla realizzazione di altri studi su questa tipologia edilizia affascinante.

Cenni sulla metodologia applicata

La metodologia applicata, che verrà comunque descritta più dettagliatamente nel capitolo "Strumenti e finalità dell'analisi", può essere qui sintetizzata brevemente:

! Ricerca e analisi bibliografica: il soggetto trattato ha un carattere prettamente tecnico; per questo motivo la ricerca ha dovuto attingere a fonti bibliografiche relative alle varie discipline di caratteristiche specialistiche coinvolte. Inoltre le fonti più autorevoli sono state riscontrate nella produzione scientifica o divulgativa di origine anglosassone. L'analisi storica sulle origini del service core è il frutto di un lavoro di ricerca all'interno dell'archivio storico della biblioteca pubblica di Chicago, svolto durante i due soggiorni di ricerca effettuati dall'autore presso l'Illinois Institute of Technology (IIT) / Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH).

! Analisi dei principali edifici esistenti, dei più importanti progetti proposti o comunque di edifici di grande interesse specifico per gli argomenti trattati; l'osservazione di alcuni edifici permette di comprendere la trasposizione dalla teoria alla pratica delle teorie individuate durante l'analisi bibliografica condotta in precedenza. L'analisi dei più importanti progetti recenti permette di individuare i trend evolutivi in corso, per comprendere come il mondo

professionale stia dando risposta alle principali tematiche odierne inerenti la progettazione dei grattacieli (sicurezza, riduzione dei consumi, ecc.).

! Colloqui diretti con esponenti di spicco del mondo accademico o professionale coinvolti nella progettazione di edifici alti; gli incontri si sono svolti prevalentemente durante i soggiorni di ricerca presso l'IIT/CTBUH e l'Université d'Architecture de Paris Belleville. Il confronto con importanti progettisti e specialisti delle varie discipline è stato fondamentale per verificare la correttezza di alcune delle teorie sviluppate nella tesi.

L'architettura è una materia che abbraccia una grandissima quantità di saperi teorici e di conoscenze tecniche; una ricerca di architettura deve pertanto essere in grado di spaziare all'interno di tutti i campi disciplinari. La metodologia applicata è dunque di volta in volta quella propria dell'analisi storica, fondata sullo studio dei documenti originali e della letteratura (dell'epoca o contemporanea) oppure di ispirazione tecnico-scientifica, tramite il ricorso a modelli e simulazioni e l'acquisizione di dati sperimentali. Inoltre, la ricerca ha una caratteristica eminentemente architettonica, compiendo cioè una ricerca attraverso la progettazione. Progettazione che è preceduta e ispirata dall'analisi storica e morfologica e i cui risultati sono supportati dalla simulazione e dalla verifica dei dati acquisiti.

Criticità della ricerca e fasi di verifica dei risultati.

Il principale ostacolo è stato rappresentato dalla difficoltà di acquisizione di dati originali. Gli studi di architettura consultati hanno infatti riferito di non poter divulgare dati sensibili dei progetti eseguiti, soprattutto su tematiche quali i consumi energetici ritenute strategiche ai fini del marketing degli edifici. Anche i gestori degli edifici, società specializzate che "amministrano" il bene per conto dei proprietari, sono impermeabili alle richieste di informazioni. Le motivazioni sono molteplici, dovute sia a questioni di sicurezza introdotte dopo l'11 Settembre, sia a questioni di marketing e di concorrenza nel settore della gestione immobiliare. I dati utilizzati nelle varie fasi della ricerca sono quindi desunti dalla bibliografia consultata o, qualora questi non fossero sufficientemente dettagliati, sono stati creati dall'autore tramite il ricorso a simulazioni, fogli di calcolo o tramite la sintesi di altri dati disponibili.

Come detto, la ricerca vuole ricostruire i legami esistenti tra le diverse parti del *service core* che vengono solitamente persi nell'affrontare i vari argomenti in ambiti monodisciplinari. Lo studio proposto non può pertanto avere il livello di approfondimento caratteristico delle analisi specialistiche a cui si appoggia, ma deve essere invece considerato come una ricerca

architettonica, nel significato generale di una disciplina che è tanto umanistica quanto scientifica.

Un ulteriore elemento di criticità è l'assenza di testi di riferimento che affrontino in maniera analoga, e a un livello di approfondimento paragonabile, l'argomento del *service core*. È stato individuato un solo libro sul medesimo argomento: "Service Cores", di Ken Yeang⁵. Dalla lettura di questo testo, che descrive le funzioni tradizionali del *service core* e elenca le scelte che l'architetto deve compiere nelle varie fasi di elaborazione del progetto, appare tuttavia evidente il carattere prettamente didascalico della pubblicazione. L'assenza di una bibliografia a cui riferirsi, se da un lato ha sottolineato l'originalità della ricerca, ha presentato, dall'altro, un elemento di criticità sia per l'assenza di elementi di confronto sia per il desiderio di comprendere in profondità il funzionamento di ogni singola parte del *service core*. Durante lo studio, è stata forte la tentazione di redigere un "manuale" di progettazione del *service core*, corredando il testo di riferimenti normativi e criteri di dimensionamento. Pur nell'interesse che un simile contributo avrebbe avuto, si sarebbe perso di vista lo scopo ultimo della ricerca, ovvero la comprensione e la descrizione del rapporto tra il *service core* e i consumi energetici e l'*embodied energy* di un grattacielo.

La verifica dei risultati della presente ricerca è avvenuta grazie a tre successivi livelli di controllo. Un primo controllo viene effettuato tramite la verifica bibliografica delle deduzioni e dei risultati della ricerca, cercando di reperire informazioni e dati analoghi che siano il risultato di ricerche autorevoli compiute da altre figure accademiche o professionali.

Il secondo livello di verifica dei risultati è affidato al confronto con il *tutor* della tesi e con le altre figure accademiche di riferimento consultate, oltre che dalle periodiche riunioni del Collegio dei Docenti del Dottorato in Tecnologia dell'Architettura della Facoltà di Architettura dell'Università di Ferrara, dell'Università IUAV di Venezia e della Facoltà di Architettura "Aldo Rossi" di Cesena.

Il terzo step di verifica è affidato a dei revisori esterni, tramite il sistema del *peer review*, chiamati a esprimere un giudizio sui saggi presentati e pubblicati in atti di convegni internazionali o su riviste specializzate.

Destinatari della ricerca

La ricerca è caratterizzata da un grado di specificità elevato, trattando un elemento tecnico di una particolare tipologia edilizia, peraltro poco diffusa soprattutto in territorio Europeo. La ricerca non è pertanto destinata a degli interlocutori generici, ma a un numero di professionisti e accademici

relativamente ristretto interessati alle tematiche della sostenibilità degli edifici alti.

In particolare, possono essere individuati come destinatari:

! *Studenti che affrontano il tema a un livello avanzato del loro corso di studi;*

! *Ricercatori impegnati nell'analisi di tematiche affini alla sostenibilità degli edifici alti e alla progettazione del service core;*

! *Professionisti impegnati nella progettazione di un grattacielo*

! *Tecnici di una delle discipline coinvolte che vogliono approfondire la conoscenza delle altre parti del service core.*

Struttura della ricerca

La ricerca è strutturata in quattro sezioni.

La prima, comprendente i primi quattro capitoli, introduce la tematica generale dei grattacieli, analizzando le diverse tipologie progettuali riscontrabili e proponendo un'analisi approfondita dei consumi energetici e dell'*embodied energy* di un grattacielo. L'edificio alto viene spesso trattato da molti progettisti come un oggetto scultoreo di design trasposto, grazie alla grafica digitale, alla scala urbana di un edificio. I diversi approcci progettuali che è possibile riscontrare dall'osservazione del panorama edilizio esistente nascono tutti in risposta a un programma di costruzione che definisce i caratteri generali del progetto. L'approccio integrato, che generalmente restituisce i risultati migliori, nasce dalla stretta cooperazione tra le varie figure professionali coinvolte nel progetto. In questa sezione vengono individuati e analizzati i dati di riferimento complessivi (riferiti a energia in fase d'uso ed *embodied energy* dei materiali) necessari alle fasi successive. L'analisi storica dei consumi energetici di un edificio alto permette di individuare lo stretto legame tra i vincoli tecnologici esistenti nelle varie epoche analizzate e l'energia di funzionamento di un grattacielo.

La seconda parte, composta da cinque capitoli, introduce e definisce l'oggetto dell'analisi: il *service core* di un edificio alto. Lo studio della sua evoluzione storica permette di evidenziare le influenze tra questo e le altre parti dell'edificio e i suoi cambiamenti al mutare delle esigenze, dei regolamenti edilizi e delle tecnologie disponibili. L'analisi tipologica delle possibili configurazioni *service core*-edificio mira a individuare i recenti trend progettuali in atto e le principali caratteristiche derivanti da uno spostamento di esso dalla sua tradizionale posizione al centro dell'edificio. Uno specifico capitolo studia le relazioni esistenti tra il *service core* e le altre parti di un grattacielo, sottolineando, di conseguenza, i punti di contatto e di confronto tra i vari professionisti coinvolti nel progetto.

La terza parte della ricerca sviluppa il tema principale della tesi, ossia l'analisi dell'influenza che le scelte progettuali del *service core* hanno

sull'*embodied energy* e sui consumi del grattacielo. La definizione di una nuova metodologia parte dall'analisi degli studi disponibili in materia e dall'evidenziazione delle rispettive criticità riscontrate. Le simulazioni effettuate e i risultati delle analisi permettono di riesaminare sotto una nuova luce alcuni "luoghi comuni" della progettazione di un edificio alto.

La sezione conclusiva ripercorre brevemente l'analisi effettuata, sottolineando le principali criticità della progettazione di un *service core* e fornendo delle indicazioni pratiche per la redazione di un progetto funzionale e attento alle tematiche analizzate.

- 1 James Howard Kunstler and Nikos A. Salingaros "The End Of Tall Buildings", 17 Settembre 2001, <http://www.planetizen.com/node/27>
- 2 Philip Oldfield, "Tallest 20 in 2020", *CTBUH Journal*, Autunno, (2007).
- 3! IPCC - AA.VV., "Residential and commercial buildings. In Climate Change 2007: Mitigation", in *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, in *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, a cura di: B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer, (Cambridge: Cambridge University Press ,2007)
- 4 Lynn Beedle, "Foreword", in *Structural Design of Tall Concrete and Masonry Buildings*, a cura di Reese R.C., MacGregor J.G., Lyse I., (CTBUH, Bethlehem, 1978)
- 5 Ken Yeang, *Service Cores*. (Chichester: Wiley Academy, 2006)

A photograph of a modern building's entrance. The structure features large, light-colored concrete pillars that support a wide, overhanging canopy. The canopy is perforated with small, circular lights. The ground floor has large glass windows and doors. A few people are walking on the paved plaza in front of the building. In the foreground, there are several large, shallow planters filled with green shrubs. A dark, abstract sculpture is visible on the right side of the plaza. The overall aesthetic is clean and architectural.

**Il grattacielo oggi: gli
approcci progettuali e la
sfida della sostenibilità**



La progettazione di un edificio alto

Le “spinte” che guidano il progetto

Un'analisi degli edifici alti realizzati negli ultimi anni e degli esiti dei più noti concorsi di progettazione suggerisce l'individuazione di due approcci differenti al tema del grattacielo: l'approccio compositivo e quello tecnologico. I due differenti modi di affrontare il progetto rispondono a diversi stimoli impartiti dal committente tramite la formulazione del programma. Nonostante entrambi i metodi considerino ovviamente le principali istanze dell'altro approccio progettuale, si possono chiaramente individuare, in alcuni edifici esistenti o proposti, due concezioni completamente diverse, che interpretano il tema del costruire in altezza l'una in maniera scultorea, l'altra utilitaristica, come pedissequa applicazioni di formule progettuali di derivazione economica. Entrambi i modi di concepire l'edificio nascono, tuttavia, da un diverso modo di rispondere ai vincoli programmatici dettati dalla committenza o a quelli imposti dai regolamenti edilizi.

Per comprendere molti dei “comportamenti” progettuali dei gruppi di professionisti coinvolti e, di conseguenza, le motivazioni di alcune scelte stilistiche, tecnologiche o strutturali, è necessario analizzare i numerosissimi vincoli imposti al progetto. Questi, spesso in disaccordo tra loro, vengono inoltre filtrati dalle aspirazioni e convinzioni personali dei vari attori in gioco. L'elemento chiave che dovrebbe presiedere comunque a tutte le azioni dei progettisti costituendo un punto di partenza imprescindibile nell'affrontare qualsiasi ragionamento riguardante gli edifici alti è il rilevante valore economico del grattacielo e l'intento imprenditoriale-speculativo per il quale viene solitamente realizzato. Il riconoscimento di questo carattere dell'edificio strettamente legato agli aspetti finanziari dell'intervento edilizio permette di guidare ogni professionista nel compimento delle decisioni fondamentali da intraprendere, la maggiore parte delle quali propenderanno per l'opzione economicamente più efficiente tra le varie soluzioni progettuali possibili. Per comprendere il significato delle scelte che soggiacciono a tutte le decisioni prese riguardo a un edificio alto bisogna infatti riconoscere che i grattacieli “sono sia il luogo che la materia stessa degli affari”¹ (Nella lingua originale: *(tall buildings) “should be best understood as the locus of business and as business themselves”*). Gli edifici alti nacquero come luoghi in cui svolgere attività direzionali e al loro interno vennero raccolti gli uffici delle grandi compagnie americane di inizio Novecento: “Il prestigio e un'immagine di alto profilo stavano diventando sempre più importanti per molte società e la costruzione di un'adeguata



Img. 1.01 - I grattacieli di New York che occupano interamente la sagoma lasciata disponibile dalla Zoning Law sono un ottimo esempio di intervento speculativo: la volumetria concessa dalla sagoma limite imposta dalla normativa urbanistica dell'epoca viene sfruttata appieno per il conseguimento del massimo profitto.

sede era uno strumento sempre più frequentemente adottato per celebrare il potere e la stabilità finanziaria della compagnia”². Ben presto però, il ruolo di *corporate headquarters* passò in secondo piano, non appena venne compreso il loro elevato valore come investimenti promossi da autonomi speculatori immobiliari. Il Trinity Building, a esempio, venne costruito a fianco della Trinity Church di Manhattan come intervento immobiliare realizzato dalla stessa comunità religiosa insediata nella chiesa.

Per comprendere il ruolo che la costruzione di un edificio alto assume nel mercato dell'edilizia è importante considerare che il costo totale per la realizzazione di un edificio alto è nell'ordine delle centinaia di milioni di dollari, con un valore medio di 750 milioni di dollari per la costruzione dei 10 grattacieli più alti completati nell'ultimo decennio³. Ovviamente, il valore dell'edificio varia di molto a seconda dell'altezza e della volumetria, della destinazione d'uso, dei materiali e della manodopera impiegati e delle finalità per le quali viene realizzato. Infatti è possibile individuare varie tipologie suddivise in funzione delle diversi intenti economici che animano la promozione dell'intervento edilizio:

! Atto speculativo semplice. L'edificio è realizzato con l'intento di massimizzare la rendita di un investimento di capitale. La progettazione e la costruzione sono standardizzate per ridurre l'incidenza sui costi complessivi, gravati solitamente da un elevato valore del terreno su cui vengono realizzati (distretti finanziari delle aree centrali delle metropoli). L'obiettivo della costruzione è di massimizzare il rapporto tra superficie affittabile NRA (Net Rentable Area) e volumetria o superficie costruita GFA (Gross Floor Area). Solitamente viene fatto largo uso di materiali e componenti di produzione industriale e la progettazione è “code-compliant”, ovvero finalizzata al raggiungimento degli obiettivi minimi fissati dalle normative vigenti. E' la tipologia di edifici alti più diffusa, generalmente rappresentata da uffici e alberghi o, in una percentuale minore di casi, da residenze. La progettazione è affidata a studi di ingegneria o di architettura che mirano a generare profitti diretti minimizzando anch'essi l'impiego di risorse umane e strumentali attingendo a soluzioni progettuali convenzionali e consolidate.

! Landmark “collettivo”. L'edificio viene realizzato come elemento di valorizzazione di un'intera area urbana, spesso promosso da enti pubblici o assimilabili per valorizzare aree marginali o per sanare la situazione di quartieri poveri all'interno delle città. L'edificio ospita solitamente un mix di funzioni che lo rendono attrattivo per un'ampia fascia di utenza distribuita su un'estesa fascia oraria della giornata. La progettazione fa ricorso a materiali e tecniche di grande impatto visivo, ma riconducibili comunque a prassi convenzionali per contenere i costi entro i limiti fissati dal committente.



Img. 1.02 - Il Burj Dubai, il futuro detentore del titolo di "grattacielo più alto del mondo", è il centro di un intervento speculativo del valore di 20 miliardi di euro. Il grattacielo in se non raggiungerà forse mai il pareggio economico, ma l'attenzione mediatica suscitata su tutto il complesso edilizio è sicuramente valsa l'investimento.

! Landmark "individuale". L'edificio viene realizzato come elemento di valorizzazione di un'area urbana limitata appartenente allo stesso proprietario del grattacielo oggetto di progettazione, al fine di aumentarne il valore complessivo (Burj Dubai, grattacieli Ex-Fiera a Milano), oppure come manifesto pubblicitario per la celebrazione del potere economico acquisito dal committente (Swiss Re, Sears Tower). L'edificio dispone generalmente di un budget molto elevato per l'adozione di soluzioni innovative e a forte impatto visivo. Il committente è molto spesso, in questo caso, il destinatario finale principale degli spazi realizzati, nonostante porzioni variabili dell'edificio possano essere cedute in affitto per generare profitti. I landmark sono solitamente il risultato di concorsi a inviti o di affidamenti diretti tramite i quali si costituisce un rapporto virtuoso tra committente e progettista che porta alla realizzazione di progetti di grande qualità, importante occasione anche per la promozione di innovazioni tecnologiche e di processo.

! Atto in risposta a specifiche esigenze edilizie. Vengono realizzati solitamente da committenti pubblici per rispondere a esigenze del settore dell'edilizia convenzionata o per soddisfare la necessità di ampie volumetrie da destinare a enti pubblici. Vengono solitamente realizzati facendo grande uso di soluzioni standardizzate e prefabbricate per ridurre al minimo i costi. Essendo generalmente progettati da studi non specializzati o dagli uffici tecnici delle amministrazioni coinvolte, portano a esiti architettonici spesso discutibili.

In tutti casi, tranne rare eccezioni, il grattacielo nasce sempre con intenti economici che ricadono direttamente su di esso (speculazione) o che si

ripercuotono sul contesto in cui viene realizzato, valorizzando le aree o le proprietà adiacenti.

Il programma

Il programma di realizzazione di un grattacielo è l'insieme delle istruzioni che il team di progettazione deve seguire. È formato da due gruppi di indicazioni, a volte in contrasto tra loro: l'insieme delle normative e dei vincoli stabiliti dai regolamenti edilizi e l'insieme delle richieste del committente. Il primo dà ai progettisti indicazioni prescrittive indispensabili per il raggiungimento delle autorizzazioni necessarie alla realizzazione e alla fruibilità dell'opera. Le indicazioni progettuali fornite dal committente sono invece meno vincolanti e delineano le aspettative del committente. Soprattutto nel caso di concorsi pubblici, queste devono essere reinterpretate in modo da non tradire, almeno nella fase iniziale della selezione, le intenzioni che hanno stimolato la nascita del processo di progettazione del grattacielo.

Le indicazioni progettuali del committente sono generalmente provenienti da una struttura interna alla committenza stessa (qualora il committente sia un attore professionale del mercato edilizio e disponga quindi di una struttura tecnica interna predisposta alla gestione degli immobili) oppure da un professionista esterno, appositamente incaricato per la consulenza al committente, qualora invece questa non sia una figura professionale del mondo dell'edilizia.

Nei casi in cui il destinatario finale non sia direttamente il promotore della costruzione di un edificio alto, i grattacieli per uffici vengono comunque realizzati per essere occupati da clienti di grandi dimensioni che possano garantire, per un lungo periodo di tempo, l'occupazione permanente di rilevanti porzioni dell'edificio. Sia gli edifici per uffici che le tipologie residenziali, alberghiere o miste vengono spesso costruite infatti da un imprenditore autonomo, che si occupa successivamente della locazione degli spazi di cui resta comunque proprietario. La costruzione di un edificio alto è, dunque, per questa figura l'oggetto del business e le sue azioni sono improntate alla realizzazione del massimo profitto.

Le indicazioni contenute nel programma riguardano solitamente:

! Caratteristiche economiche: budget totale e parziale delle singole voci;

! Caratteristiche dimensionali: superficie netta, superficie lorda, volume, altezza, numero di piani;

! Destinazione d'uso: destinazione d'uso e target d'utenza (gli edifici per uffici possono essere, per esempio: lusso, alta densità, dirigenziali, open space ecc.)

! Finalità: speculazione, sede societaria, landmark ecc.

A queste si aggiungono indicazioni riguardanti le tempistiche di realizzazione che, specie negli interventi strettamente speculativi, rivestono un importante ruolo nel bilancio economico dell'intervento. Ultimamente inoltre, si stanno rivelando sempre più esplicite le richieste relative al soddisfacimento di obiettivi minimi di "sostenibilità", intesa spesso in termini molto generici, o specificata in base al raggiungimento di determinati livelli di certificazione ambientale del costruito.

L'approccio compositivo

L'approccio compositivo al progetto di un edificio alto è evidente nella realizzazione di numerosi grattacieli "iconici", ovvero quelli destinati a caratterizzare fortemente, con la loro presenza, lo skyline della città. La metodologia di tale approccio potrebbe essere definita come un lavoro di successiva definizione di un *concept* iniziale di edificio. "Gli architetti tendono a prendere un approccio (...) che parte dal considerare attentamente delle idee riguardanti l'edificio completo e costruito, ed esplorandolo poi da fuori a dentro, dipanando l'intricata matassa dei rapporti tra parti e funzioni"⁴. Una *silhouette* dall'elevato valore scultoreo viene cioè adattata per fasi successive alle esigenze del programma, ai vincoli normativi e ai limiti tecnici, cercando di preservare il più possibile l'immagine originaria dell'idea.

Il parametro fondamentale che condiziona tutte le fasi del lavoro è dato dall'immagine che si vuole far assumere all'edificio, in rispondenza a intuizioni progettuali o a riferimenti esterni da richiamare. A questa viene successivamente associato uno schema strutturale in grado di consentire la realizzazione della forma, e viene poi definito il passo della maglia strutturale per procedere alla fase di suddivisione interna degli spazi. L'involucro viene progettato dando molto rilievo all'aspetto del materiale, concentrandosi soprattutto sulla percezione che gli utenti avranno di esso.

Gli elementi negativi di un approccio troppo legato all'aspetto architettonico dell'edificio alto si palesano solitamente quando il bando che guida la progettazione non è sufficientemente dettagliato o quando il progettista mira a ottenere, tramite una proposta diretta formulata a un potenziale cliente (*vision*), una particolarità visibilità mediatica.

In questi casi, le sorti del progetto possono dare esito a due diverse soluzioni: lo stravolgimento dell'idea iniziale durante la progettazione esecutiva dell'opera o, nei casi più estremi, l'abbandono del progetto.

Come è ovvio, il valore economico di un edificio alto porta alla valutazione attenta di ogni aspetto che potrebbe minarne la fattibilità o la funzionalità una volta completata la costruzione. Nonostante questo, è però possibile individuare alcuni esempi, che verranno descritti in seguito, nei quali un

approccio progettuale troppo legato all'immagine scultorea dell'edificio alto, a discapito della sua funzionalità, ha portato a situazioni di crisi concluse con esiti fortemente negativi.

Nel caso più ricorrente si può riscontrare lo stravolgimento dell'idea iniziale, a causa delle modifiche necessarie per adattare la "visione" ai vincoli di un progetto reale: il *concept* iniziale subisce un elevato numero di trasformazioni successive che ne modificano irreparabilmente l'idea originaria. Tali modifiche, necessarie per rendere il prodotto finale funzionale e in linea con i limiti tecnici e le imposizioni legislative, svuotano il progetto dei principali contenuti espressivi dati dalla concezione architettonica. Il risultato finale può essere un edificio funzionale e funzionante snaturato però dai valori architettonici originari o un edificio nel quale, per preservare il più possibile la forma e i caratteri spaziali, vengono penalizzati gli aspetti tecnologici limitando almeno in parte la funzionalità del progetto.

Al limite, l'errata progettazione può portare invece all'abbandono totale del



Img. 1.03 - Il Ryugyong Hotel svetta incompleto da quasi 20 anni sul cielo di Pyongyang. Il progetto è stato abbandonato sia per la crisi finanziaria che ha colpito la dittatura nord-coreana sia per i numerosi errori tecnici del progetto, che rendono di fatto inservibile l'intera struttura.

progetto. Il *concept* iniziale, molto forte e accattivante, “non funziona” per l'impossibilità di adattarlo alle esigenze tecniche inderogabili. Il progetto viene così abbandonato o sottoposto a pesanti e vistose manomissioni che lo rendono completamente incoerente con l'idea originaria, dalla quale può essere riconosciuto come un prodotto indipendente. La necessità di abbandonare il progetto si palesa solitamente durante le prime fasi della redazione dei disegni più approfonditi. In alcuni casi tuttavia, i problemi concettuali e i limiti tecnici della progettazione si sono palesati solo a costruzione quasi ultimata: uno degli esempi più celebri e dalle conseguenze peggiori di errata concezione di un edificio alto è dato dal Ryugyong Hotel di Pyongyang, capitale della Corea del Nord. L'edificio, che sarebbe dovuto diventare l'albergo più grande del mondo, fu voluto a metà degli anni '80 dal regime nordcoreano per adombrare, in clima di “guerra fredda”, i successi immobiliari della Sudcoreana Samsung. E' difficile reperire informazioni certe riguardanti le cause dell'abbandono della costruzione ma l'ipotesi più plausibile è l'inadeguatezza di molti aspetti tecnici del progetto. Dalla qualità del cemento utilizzato, al numero insufficiente di ascensori, alla mancanza di spazio sufficiente per l'installazione dei condotti di aria forzata, sono molte le cause che, a detta delle poche testimonianze attendibili, hanno causato lo stop dei lavori. L'edificio, la cui struttura è stata completata nel 1989, sovrasta la città con i suoi 105 piani incompleti e inutilizzabili a causa delle lacune tecniche insite nella progettazione.



Img. 1.04 & 1.05 - Poco è rimasto del progetto di Libeskind vincitore del concorso per la ricostruzione del World Trade Center di New York. Il progetto è stato profondamente rimaneggiato per alcune questioni tecniche di difficile soluzione che, a seguito delle numerose modifiche, hanno portato il grattacielo ora in fase di costruzione ad avere una forma e dei riferimenti completamente diversi da quello originario

Al di là di esempi estremi come quello descritto, sono numerosi i progetti che, a partire dal *concept* iniziale hanno subito vistose modifiche fino a subire uno stravolgimento della natura originaria dell'edificio. La Freedom Tower di New York ne è un esempio recente. Il design originale di Libeskind, uscito vincitore dal concorso a inviti per la ricostruzione delle Torri Gemelle, è stato fortemente criticato per l'insostenibilità economica di alcune soluzioni adottate e per le lacune tecniche della progettazione. Una seconda versione del progetto, curata dallo stesso Libeskind "forzatamente" coadiuvato da SOM, ha portato alla definizione di una torre che manteneva solo alcuni dei tratti originari del *concept* iniziale che aveva invece suscitato il generale apprezzamento da parte del pubblico. In seguito, il progetto è andato incontro a successive modifiche operate da SOM per colmare carenze sia a livello normativo che dell'economia di realizzazione e di funzionamento dell'edificio. L'ultima versione, ora in fase di realizzazione, ha visto, oltre all'esclusione di Libeskind dall'elenco dei progettisti, anche la perdita di tutte quelle caratteristiche architettoniche distintive che ne avevano generato la *silhouette* fin dalla fase concorsuale. Il risultato finale, che sarà completamente diverso dal progetto scelto dalla giuria con il suffragio dell'opinione pubblica, è stato bollato come "incubo" e "monumentalmente banale"⁵ dai principali quotidiani americani.

L'approccio tecnologico alla progettazione

La progettazione di un edificio alto non dovrebbe mai prescindere dall'attenta considerazione degli aspetti tecnologici di un grattacielo in mancanza della quale, come visto in precedenza, si provoca lo stravolgimento del progetto durante le fasi evolutive che portano dall'idea iniziale alla redazione degli esecutivi. Sono comunque riscontrabili alcune estremizzazioni in cui l'approccio tecnologico ha profondamente dominato il processo di progettazione, fino a porre completamente in secondo piano gli aspetti progettuali della composizione architettonica.

Gli edifici eccessivamente sbilanciati verso un approccio tecnologico sono generalmente quelli costruiti privilegiando le finalità speculative dell'intervento edilizio. L'intento di massimizzare la rendita economica dell'intervento spinge infatti i promotori a ridurre il più possibile l'investimento per la progettazione dell'opera, affidando l'incarico a studi specializzati di ingegneria. Questi, sfruttando il consistente bagaglio di conoscenze tecniche accumulate in interventi simili e utilizzando codici e prassi progettuali consolidate, realizzano edifici "standard" cercando anch'essi di ottimizzare gli aspetti remunerativi della progettazione:

! massimizzazione dell'efficienza di uso dello spazio (rapporto NRA / GFA);

! utilizzazione di componenti tecnici e prassi costruttive affidabili;

! ricorso a soluzioni progettuali convenzionali che riducano i tempi di redazione degli elaborati grafici e la possibilità di contenziosi.

Le ricadute negative di tale approccio progettuale sono limitate perché, a differenza degli edifici eccessivamente sbilanciati verso un approccio esclusivamente architettonico, i grattacieli progettati seguendo un approccio tecnologico “funzionano”, e sono pertanto in grado di rispondere adeguatamente a tutti i requisiti tecnici del costruito. Di conseguenza i limiti principali consistono nell’accentuazione di alcuni caratteri che sono comunque riscontrabili in molti grattacieli come, per esempio, l’omogeneità delle facciate su tutti i fronti. Tra gli aspetti negativi solitamente riscontrati, dovuti proprio alla minore attenzione per gli aspetti architettonici con la quale sono stati progettati, è da sottolineare l’anonimo aspetto di molti grattacieli che “crea un’allarmante omogeneità e monotonia tra le metropoli del mondo”⁶. L’utilizzazione di schemi consolidati si ripercuote anche sulla distribuzione interna: il *service core* viene collocato al centro dell’edificio, in modo da ottimizzare la disponibilità dello spazio interno. Tramite il ricorso a schemi “preconfezionati” si provoca così il distacco dell’edificio dal contesto, e la creazione di progetti “trasportabili” da un luogo all’altro senza che vi sia un’aderenza alla tradizione locale, ai materiali caratteristici, o una risposta



Img. 1.06 - I Lake Shore Drive Apartments di Mies Van Der Rohe sono serviti da modello per moltissimi grattacieli, sia per appartamenti che per uffici. Lo schema tipo, i dettagli di facciata, il modulo strutturale diventarono la base dello stile miesiano dei grattacieli.

mirata alle esigenze di inserimento ambientale dell'opera all'interno del microclima della zona.

L'individuazione di esempi significativi è sotto certi aspetti assai difficile perché, come detto, questi edifici non presentano particolari carenze funzionali e non balzano quindi agli onori delle cronache per palesi errori che ne compromettono l'utilizzazione. Tuttavia, come conseguenza dell'approccio tecnologico, è possibile citare i numerosi edifici alti progettati negli Stati Uniti dallo studio di Mies Van Der Rohe e dai suoi "eredi" che rappresentano forse uno degli esempi più emblematici di riproduzione in serie di uno stesso modello e schema concettuale. Con i Lake Shore Drive Buildings di Chicago del 1951, Mies creò uno dei prototipi architettonici di maggior successo, ripetuto numerose volte in altre città americane, e che fu di ispirazione per l'attività di altri architetti tra i quali il celeberrimo gruppo SOM. I grattacieli dello stile miesiano, tutti con *service core* centrale, rappresentano l'estremizzazione dell'utilitarismo, come dice Buchanan⁷ "qui spinto oltre il limite di una semplice distribuzione all'interno di una griglia. Queste torri erano efficienti in senso stretto, massimizzando il rapporto della superficie netta affittabile rispetto alla superficie lorda, e minimizzando il rapporto tra la superficie di involucro in relazione alla superficie commerciale. La maggiore velocità di costruzione minimizzava i costi dell'edificio e degli interessi, ma ignorava i costi a lungo termine, inclusi quelli dell'energia. Piani identici con un'altezza utile minima, banalmente impilati e lasciati suddividere e arredare dai clienti finali". La descrizione, forse eccessivamente dura se applicata ad alcuni di questi edifici di grande rigore costruttivo, rappresenta però l'essenza della critica mossa nei confronti di un intero periodo della storia dei grattacieli: l'assoluto utilitarismo della costruzione, ripetuta serialmente e privata di qualsiasi rapporto con il contesto che otteneva, tramite l'efficienza d'uso dei materiali e l'accorta progettazione, il massimo rendimento dall'investimento di capitale.

L'approccio integrato

La progettazione di un edificio alto, affrontata utilizzando un approccio disgiunto che privilegia, a seconda, l'aspetto tecnologico o l'aspetto architettonico, può sollevare i problemi sopra descritti. Tutte le scelte che un componente del *team* di progettazione di un edificio compie ricadono, inevitabilmente, sull'operato degli altri specialisti. Tale problema, valido per qualunque tipologia edilizia, assume maggiore rilevanza in un grattacielo, data la complessità del manufatto e la molteplicità di funzioni svolte simultaneamente da un singolo elemento.

La concatenazione di alcune delle scelte che stanno alla base del progetto di un grattacielo richiede, per il raggiungimento dei migliori risultati, la

		Physical Sub-Systems and Components												
		ARCH				STR.		MEP						
Sub-System Component	Form	Program	Envelope	Core	Foundation	Framework	HVAC	Elevators	Lighting	Telecom	Fire Protection	Water Supply	Waste Disposal	
	ARCHITECTURE	Lobbies	xx	xx	x	xxx	o	o	xx	xxx	x	x	xx	x
Stairs		x	xx	o	xxx	o	x	o	xx	o	o	xxx	o	o
Space Layout		xx	xxx	xxx	xx	o	xxx	xxx	xx	xx	x	xx	xx	xx
Wals / Partitions		x	xxx	xxx	xx	xx	xxx	xxx	xx	xxx	xx	xxx	x	x
Operable Windows		o	xx	xxx	o	o	o	xxx	o	o	o	xx	o	o
Cladding/Insulation		o	o	xxx	o	o	xx	xxx	o	o	o	x	o	o
Curtain Wall		xx	xx	xxx	o	o	xxx	xxx	o	xxx	o	o	o	o
Ceiling		o	xxx	o	o	o	xxx	xxx	o	xxx	xx	xxx	xxx	xxx
STRUCT	Lateral Load Resistance	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xx	xx	o	o	o	o	o
	Gravity Load Resistance	xx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xx	xxx	o	o	o	o	o
MEP	Heat Pumps	o	xx	xxx	o	o	o	xxx	o	o	o	o	x	o
	Chiller	o	xx	xxx	o	o	o	xxx	o	o	o	o	xx	o
	Boiler	o	xx	xxx	o	o	o	xxx	o	o	o	o	xx	o
	Duct / Piping	o	xx	o	xxx	o	xxx	xxx	xx	o	o	o	xx	xx
	Shafts	o	x	o	xxx	x	xxx	xxx	xx	o	o	xx	xx	xx
	Air Return	o	o	xxx	x	o	o	xxx	o	o	o	o	o	o
	Air Supply	o	o	xxx	x	o	o	xxx	o	o	o	o	o	o
	Plumbing	o	xx	o	xx	o	xx	xx	o	o	o	xxx	xxx	xxx
	Fuel Cells*	o	x	xxx	o	o	x	xxx	o	xx	o	o	xx	o
	PV Cells*	xx	x	xxx	o	o	x	xxx	o	xx	o	o	xx	o
Wind Turbines*	xx	x	xxx	o	o	x	xxx	o	xx	o	o	xx	o	

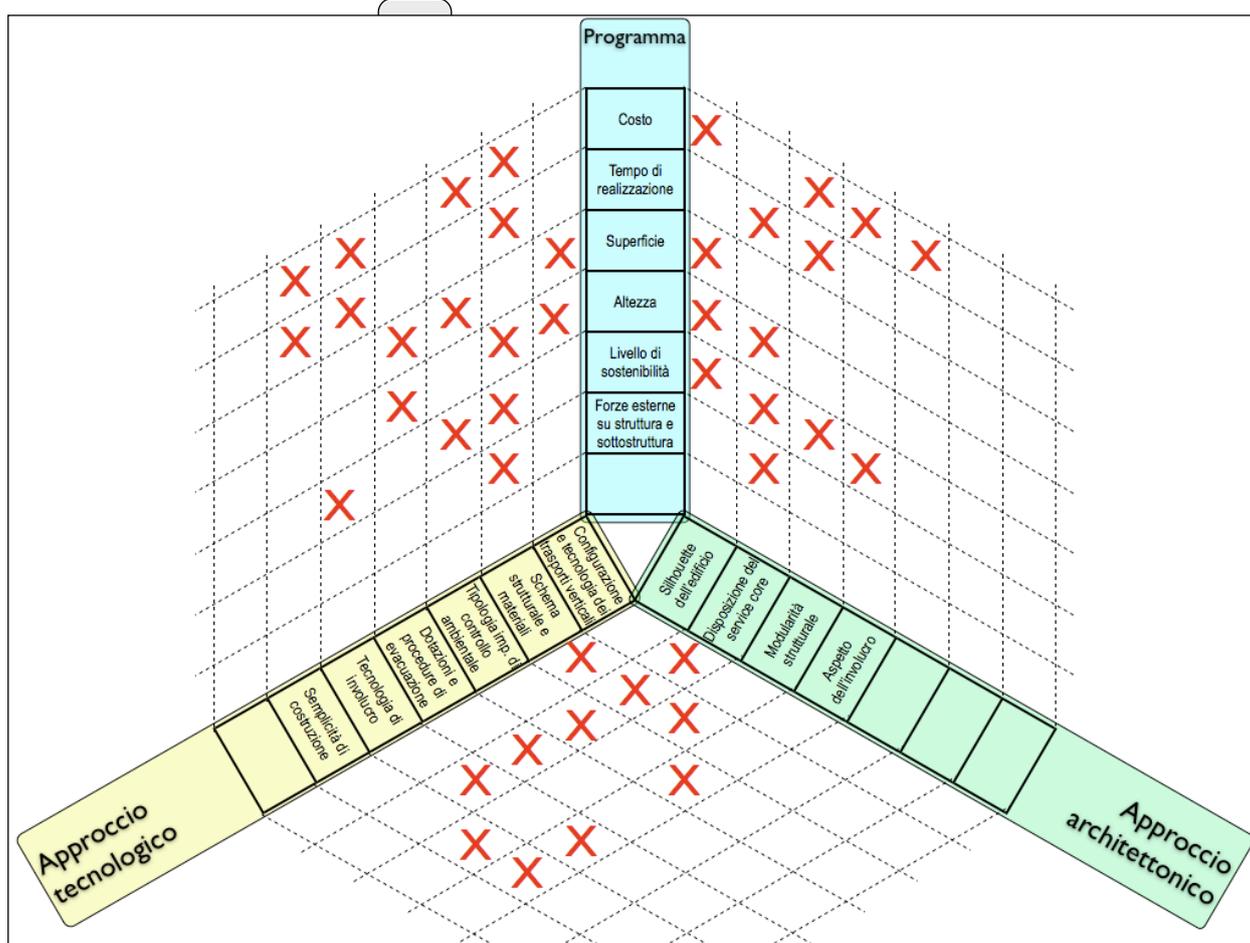
* Sustainable Components.

KEY: Degree of Influence
 xxx Major
 xx Moderate
 x Minor
 o N/A or Rare Influence

contemporanea presenza di tutte le figure competenti nelle discipline coinvolte. La realizzazione di molti degli edifici-simbolo della storia dei grattacieli è dovuta, più che alla presenza di una figura “geniale”, a un concerto di contributi specialistici che hanno collaborato in modo sinergico al raggiungimento dell’obiettivo.

Fin dalla loro nascita, la storia dei grattacieli è stata segnata dalla presenza di gruppi di progettazione riuniti non in studi (come tradizionalmente intesi nel mondo dell’architettura) ma in vere e proprie società imprenditoriali.

Img. 1.07 - La tabella evidenzia le relazioni esistenti tra i sotto sistemi dell’edificio e i suoi componenti, sottolineandone il grado di relazione. (Fonte: Ali M.M., Armstrong P.)



Img. 1.08 - La diversa importanza data alle imposizioni del programma da parte dell'approccio architettonico e dell'approccio integrato. Il quadrante in basso rappresenta i punti di conflitto dei due approcci, risolvibili tramite un approccio integrato alla progettazione. (D.T.)

Queste sono costituite da professionisti in grado di garantire, tramite la molteplicità delle competenze dei singoli individui di cui sono composti, la trattazione di tutti gli aspetti legati alla progettazione di un edificio alto. Alcuni grossi gruppi (SOM, Cesar Pelli, KPF e altri) possiedono, grazie alla loro esperienza e fama, un ruolo quasi monopolistico nel mercato della progettazione dei grattacieli, soprattutto di quelli che, per posizione o budget a disposizione, sono destinati ad assumere un ruolo di *landmark*. La particolarità che li contraddistingue è la generale assenza tra le loro fila di un nome "simbolo" di grande richiamo. Il gruppo SOM di Chicago (acronimo di Skidmore Owings and Merrill), sicuramente la firma più importante e prolifica della storia dei grattacieli, ha mantenuto invariata la denominazione anche in seguito al decesso dei soci fondatori (l'ultimo, Owings, nel 1984). Il gruppo, suddiviso in vari uffici dotati di ampie autonomie, dislocati nelle principali città americane, attrae a sé i massimi professionisti delle varie discipline che partecipano alla formazione dei team di progettazione e operano quindi, in sostanza, come consulenti interni. Questa particolarità organizzativa fa differire tali strutture "integrate" dagli studi di architettura tradizionali: questi sono infatti costruiti attorno alla figura di un singolo professionista, alle cui competenze e aspirazioni si adatta l'intera organizzazione dello studio. L'integrazione dei vari aspetti della

progettazione raggiunge solitamente, nei gruppi multidisciplinari, un livello maggiore rispetto ai progetti sviluppati da uno studio tradizionale, che delega poi a dei consulenti esterni la trattazione delle questioni specialistiche.

La visita a uno di questi studi permette tuttavia di evidenziare una limitata interazione tra le diverse discipline, anche nelle strutture di progettazione che dovrebbero garantire un “approccio integrato” al tema dell’edificio alto. Ciò non rappresenta tuttavia una critica alla competenza delle figure professionali coinvolte, quanto un’analisi delle procedure di progettazione e dei meccanismi del processo edilizio che stanno alla base di questa situazione. Esse sono imputabili ad alcuni fattori specifici di questa tipologia edilizia, spesso indipendenti dalla volontà dei progettisti:

! la complessità del tema progettuale che impone la suddivisione del progetto e l’affidamento di ogni parte a figure professionali o imprenditoriali diverse;

! la necessità di definire delle gerarchie tra le differenti discipline, anche in relazione ai costi e alla reciproca adattabilità;

! i particolari “input” trasmessi dal committente che condizionano in modo determinante alcune scelte tecniche facendole prevalere sulle altre;

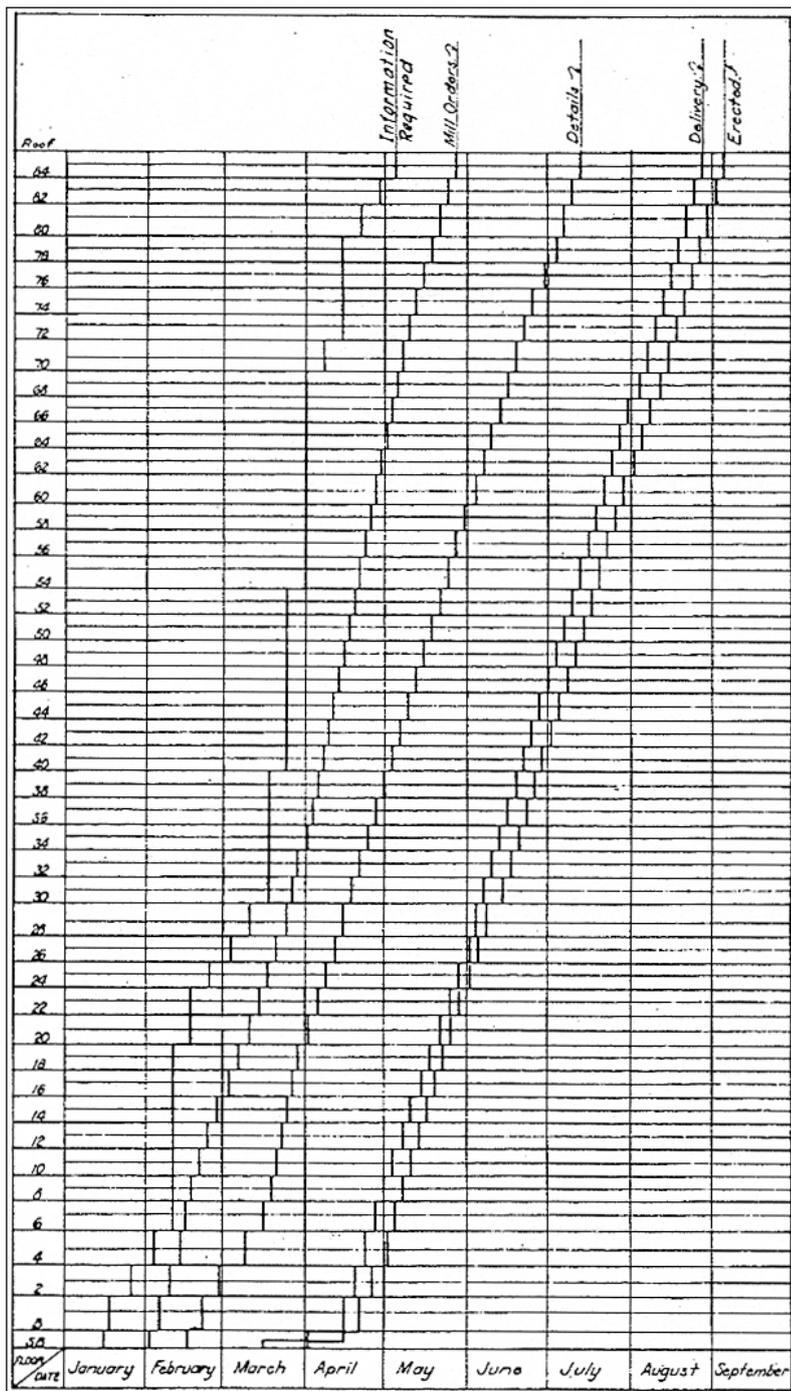
! gli specifici vincoli di origine tecnologica o normativa relativi ad alcuni ambiti che limitano il campo di azione e il grado di libertà di altri saperi;

! il processo di gestione del progetto che restringe i tempi della progettazione a favore delle esigenze economiche dell’investimento.

In particolare, l’ultimo punto “assolve” il *team* di progettazione dalla responsabilità di una non sempre ottimale integrazione tra le varie caratteristiche dell’edificio. Il sistema di gestione dei capitali che supportano l’investimento è infatti governato dalle regole della velocità: minore è il lasso temporale trascorso tra il finanziamento iniziale, l’inizio dei lavori (acquisizione del terreno, demolizioni, opere di fondazione) e l’immissione del bene sul mercato, maggiore è il guadagno economico.

Gran parte dei progetti di grattacieli vengono gestiti, infatti, utilizzando una procedura di *fast track scheduling*: tramite questa procedura, finalizzata al contenimento dei tempi, l’edificio viene appaltato man mano che le varie fasi di progettazione vengono concluse. Capita spesso, quindi, che i vari aspetti proposti dagli specialisti siano recepiti dal progetto in fasi temporali diverse, man mano cioè che si presenta il momento di operare delle scelte che influenzano, “a cascata”, le decisioni successive. Per esempio, la cantierizzazione della struttura portante viene in molti casi avviata prima che siano conclusi i progetti degli impianti, la definizione dei dettagli di facciata e degli allestimenti interni, accelerando di conseguenza le tempistiche finali.

Img. 1.09- Lo schema rappresenta il cronoprogramma dei lavori della parte strutturale dell'Empire State Building, redatto da H.G.Balcom, consulente per la progettazione strutturale dello studio Shreve, Harmon & Lamb. Il diagramma, pubblicato sul numero di Giugno 1930 della rivista *The Architectural Forum*, rappresenta la scansione temporale della progettazione e messa in opera della struttura portante del grattacielo di New York. Come si può notare, alla fine di Aprile 1930, quando la parte bassa della struttura era già stata posta in opera (linee "Delivery" e "Erected" in corrispondenza dei livelli 0-10) la progettazione della sommità del grattacielo era ancora in fase di definizione (linea "information required" in corrispondenza dei livelli più alti).



Gli specialisti incaricati della progettazione di tali unità tecnologiche si trovano quindi a operare all'interno degli schemi definitivi (spesso addirittura già costruiti) del sistema strutturale. Un esempio di questa prassi è fornita dalla realizzazione del Burj Dubai le cui fondazioni sono state appositamente sovradimensionate per consentire una maggiore libertà nel corso delle successive fasi di progettazione dell'edificio. Questo ha permesso, addirittura a cantiere avviato, di modificare sostanzialmente l'edificio innalzandone l'altezza totale di oltre cento metri. Dopo un anno dall'inizio dei lavori un'ulteriore modifica nella configurazione degli spazi è stata richiesta dal committente a cui però i progettisti non hanno potuto dare che una risposta solo parziale a causa dei limiti imposti dalle parti già

realizzate⁸. Questo esempio evidenzia come la definizione di alcune unità tecnologiche sia stata possibile solo sulla base di uno schema rigido già imposto (già costruito) dalle decisioni prese in precedenza da altre figure professionali.

Grazie al *fast track scheduling*, strettamente legato a una concezione manageriale ed economica del grattacielo (più che a una sua visione come progetto di architettura e di urbanistica) è stato possibile realizzare edifici di notevoli dimensioni negli stessi tempi solitamente impiegati per la costruzione di un piccolo fabbricato tradizionale. Grazie all'applicazione di questo processo di gestione, la progettazione e costruzione dell'Empire State Building richiesero solo 18 mesi nonostante i limiti dei materiali e delle tecniche disponibili nel 1930.⁹

A differenza di una grande quantità di realizzazioni eseguite attingendo a schemi progettuali e repertori tecnologici consolidati, alcuni progetti sono caratterizzati da una maggiore "calma" progettuale, concessa dal committente, che permette quindi di effettuare delle scelte atipiche e di elaborare il progetto con maggiore cura e coerenza. Qualora infatti l'edificio rivesta un elevato valore simbolico, e non sia solo un intervento puramente speculativo, si riesce a ottenere una maggiore personalità del risultato finale grazie alla dilatazione delle tempistiche e a una maggiore concertazione delle scelte progettuali.

-
- ¹ Carol Willis, *Form Follows Finance*, (New York: Princeton Architectural Press, 1995).
 - ² Mark Weiss, "Skyscraper zoning: New York's pioneering role", *Journal of the American Planning Association* volume 58, n° 2, (1992).
 - ³ Maria Antonia Barucco, Dario Trabucco, "Patterns of Innovation and Transfer of Technologies in the Tall Building Industry", atti del convegno internazionale: *8th BUHu international conference*, Praga 25 - 28 Giugno 2008.
 - ⁴ Mir M. Ali, Paul Armstrong, *Strategies for integrated design of sustainable tall buildings*, (Faculty of Architecture at University of Illinois at Urbana - Champaign: AIA Report on University research, 2006).
 - ⁵ Ben Kamin, "Freedom Tower's new design seems monumentally ordinary", *Chicago Tribune*, 29 Giugno 2005.
 - ⁶ Antony Wood, "Green or Grey? The Aesthetics of Tall Building Sustainability", atti del convegno internazionale: *Tall&Green, CTBUH World Congress 2008, Dubai, UAE 2-5 Marzo 2008*, a cura di Wood A., (Chicago: CTBUH, 2008).
 - ⁷ Peter Buchanan, "The Tower: An Anachronism Awaiting Rebirth?", *Harvard Design Magazine*. N° 26, (2007).
 - ⁸ Mohammed Sheriff, Gregory Smith, Peter Weismantle, "Burj Dubai: An architectural technical design case study", in *Structural Design of Tall and Special Buildings* volume 16, (2007).
 - ⁹ William Lamb, "The Empire State Building: The general design", *Architectural Forum*, volume 54, n° 1 (1931).



I consumi energetici di un edificio alto

Elementi che influenzano il bilancio energetico di un grattacielo

Nonostante i consumi energetici di un grattacielo siano un tema molto dibattuto, un calcolo preciso che fornisca dati medi sull'incidenza delle varie voci di consumo non è ancora disponibile in letteratura. Questa condizione è dettata in parte dalle grandi oscillazioni che le singole voci possono avere tra i vari edifici e in parte dalle limitate informazioni rese disponibili dai progettisti e dagli amministratori degli immobili che, per ragioni di carattere commerciale, sono poco propensi alla diffusione dei dati. I fattori che possono maggiormente influire sul dato complessivo dei consumi di energia di un edificio alto sono numerosi e possono dipendere sia da condizioni climatiche esterne al progetto, sia dalle sue stesse caratteristiche. Le principali variabili sono:

! Dimensioni e altezza;

! Caratteristiche dell'involucro;

! Destinazione d'uso;

! Tipologia di ventilazione;

! Collocazione geografica;

! Presenza di particolari accorgimenti finalizzati al risparmio energetico.

Le ragioni che stanno alla base del crescente interesse per le tecniche di riduzione dei consumi sono numerose: oltre alla crescente consapevolezza degli effetti negativi dell'inquinamento ambientale e del surriscaldamento dell'atmosfera, l'incertezza economica dovuta alla volatilità del prezzo del petrolio, ha dato un notevole impulso alla ricerca di soluzioni finalizzate a migliorare l'efficienza energetica delle attività umane. Inoltre, si deve considerare l'importanza strategica crescente che un'immagine aziendale orientata alla salvaguardia ambientale può esercitare nei confronti un'ampia fetta dell'opinione pubblica.

In questa fase è importante solo sottolineare che i consumi di energia di un grattacielo hanno assunto, nel corso della storia di questa tipologia edilizia, valori variabili a causa della mutevole importanza di ciascuna dei fattori sopra individuati. Un'analisi più precisa dell'evoluzione dei consumi verrà effettuata in un apposito capitolo. Secondo alcuni dati storici del fabbisogno (al netto del funzionamento delle apparecchiature da ufficio) riferito ai grattacieli di New York, si può notare come questo aumentò negli anni precedenti alla crisi energetica del 1974 fino a valori di 350 kW m² / anno per poi diminuire, da lì in avanti, in funzione delle misure di risparmio energetico adottate¹. Ciononostante, il consumo lordo di energia continuò

lentamente ad aumentare, in concomitanza con la comparsa di apparecchiature elettroniche (computer, stampanti, ecc.) che moltiplicarono le necessità energetiche per occupante. Solo in tempi recenti, grazie a un nuovo impulso all'efficienza energetica, si sono ridotti i consumi totali fino ad arrivare, per i grattacieli più performanti, a circa 200 kW h m² / anno. In futuro, si stima che saranno difficilmente raggiunti livelli inferiori a 90 kW h m² / anno se si esclude l'apporto generato dall'utilizzo di sistemi di generazione in situ dell'energia² (solare, fotovoltaico, ecc.).

Determinazione delle voci di consumo di un grattacielo

Al di là di questi valori, che rappresentano un dato generico e già di per sé molto variabile in funzione di alcuni fattori, è estremamente difficile suddividere il consumo di un grattacielo nelle singole voci che ne compongono il risultato finale. Lo studio presentato in questa tesi mira a investigare i rapporti tecnologico-funzionali tra il *service core* e le altre parti dell'edificio alto, analizzandone in particolare gli effetti sul consumo di energia durante il normale funzionamento dell'edificio e su quella immagazzinata nei materiali di cui l'edificio è costituito (*embodied energy*). In quest'ottica è necessario disporre di una base di dati sufficientemente dettagliata a partire dalla quale poter valutare, di volta in volta, l'incidenza delle singole azioni esaminate. L'edificio alto è una tipologia di costruzione molto complessa, sulla quale sono state pubblicate poche analisi sufficientemente precise. In molti casi inoltre, i dati raccolti da organismi ufficiali che monitorano l'assorbimento di energia del settore edilizio sono genericamente attribuiti a edifici per uffici, senza specificare i consumi della tipologia degli uffici in edifici alti. All'interno di un grattacielo si riscontrano infatti dei fattori di consumo specifici, non presenti negli edifici tradizionali, che rendono difficilmente attuabile un confronto e una suddivisione del dato aggregato nelle singole voci. Per esempio una consistente quota dei consumi di un edificio alto è data dagli ascensori, o dalle pompe necessarie per far pervenire l'acqua ai piani posti oltre il livello raggiunto dalla pressione degli acquedotti urbani. Inoltre, data la loro dimensione, si creano delle dinamiche termiche che possono portare, in molti casi, alla contemporanea necessità di raffreddare le aree interne e di riscaldare quelle perimetrali, specie se la superficie di un piano è suddivisa in uffici individuali.

Per simulare le singole voci di consumo e ottenere così la base di dati necessaria allo sviluppo delle analisi successive è stato utilizzato un foglio di calcolo creato nel 2001 da Mahadev Raman, "*principal*" presso la sede di New York di Ove Arup & Partners e gentilmente messo a disposizione per questa ricerca dall'autore. Il foglio di calcolo offre la possibilità di quantificare, tramite procedimenti semplificati, tutte le principali voci di

consumo riscontrabili all'interno di un grattacielo. L'utente definisce i caratteri generali dell'edificio e del sito in cui esso sorge impostando i valori dei principali parametri che possono influenzare i consumi.

Edificio:

! Dimensioni: dimensioni in pianta, numero dei piani, altezza interpiano;

! Involucro: Percentuale di superfici opache e vetrate, trasmittanze dei materiali ed eventuali elementi di ombreggiamento, infiltrazioni d'aria;

! Orientamento;

! Costruzione interna: efficienza d'uso dello spazio (NRA / GFA), profondità delle aree perimetrali

! Carichi interni: densità di utilizzo dello spazio, carichi termici dovuti all'illuminazione, alle dotazioni elettroniche personali e agli apparecchi comuni;

Sito di costruzione:

! Temperatura: valori medi massimi e minimi suddivisi su base mensile;

! Umidità: valori diurni e notturni su base mensile;

! Coordinate geografiche;

! Radiazione solare: suddivisa per 8 direzioni principali e 12 mesi all'anno;

! Clima: ore/mese di cielo limpido e di cielo nuvoloso.

L' *output* del foglio di calcolo è costituito da un'indicazione dalle principali voci di consumo dovute a:

! Riscaldamento;

! Raffrescamento (comprensivo del dato di deumidificazione dell'aria) ;

! Torri di evaporazione;

! Umidificazione invernale;

! Acqua calda sanitaria;

! Pompe del sistema di ventilazione forzata;

! Pompe per la movimentazione dei liquidi;

! Apparecchiature interne degli uffici;

! Ascensori.

Dopo un'attenta analisi il foglio elettronico originale è stato parzialmente modificato per adattare il metodo di calcolo di alcuni parametri in funzione dei dati riscontrati nell'analisi bibliografica di fonti più particolareggiata. Le alterazioni apportate per questa ricerca, sono state utili per enfatizzare alcune peculiarità di un grattacielo, i cui effetti erano parzialmente sottodimensionati nella versione originale. Le principali modifiche riguardano:

! Ascensori: la versione originale stimava solo 2 viaggi di andata e ritorno a persona; l'analisi compiuta su dei dati reali³, ha fornito invece un valore

medio di 3.3 cicli completi a persona, a cui vanno sommati una quantità variabile di spostamenti interpiano.

! Consumo degli ascensori: inizialmente basato solo sull'energia potenziale sviluppata dal sistema trasportando le persone, è stato modificato inserendo anche il peso stesso delle cabine. Questo infatti, sebbene parzialmente bilanciato dal contrappeso, diventa influente soprattutto nelle ore di "morbida", quando il peso totale movimentato e il peso effettivo dei passeggeri differiscono notevolmente.

! Carichi interni: ai carichi interni è stato aggiunto per intero il consumo degli ascensori; negli edifici non dotati di un sistema di recupero dell'energia (ancora abbastanza raro) l'intera energia necessaria a movimentare gli ascensori viene dissipata sotto forma di calore all'interno dell'edificio⁴.

! Fotovoltaico: nella versione originale era disponibile una tabella per il calcolo dell'apporto di energia fornito da eventuali pannelli fotovoltaici; questa funzione, che presuppone delle condizioni difficilmente riscontrabili in molti contesti climatici o urbani, è stata disattivata.

Le modifiche effettuate, ritenute opportune previa un'attenta analisi delle singole voci, hanno consentito di riallineare i risultati finali ai dati di consumo già disponibili da altre fonti, che sono stati utilizzati come strumenti di controllo. Il foglio è stato utilizzato per calcolare l'incidenza delle varie voci del consumo energetico, modificando di volta in volta alcuni dei parametri iniziali riferiti all'edificio per simulare diverse tipologie, mantenendo però invariate le superficie lorda del grattacielo (e quindi i carichi termici e i consumi "fissi" legati al valore di densità di utilizzo). La simulazione è stata compiuta sulle seguenti configurazioni spaziali, corrispondenti alle dimensioni più frequentemente riscontrate nei grattacieli:

! Edificio a pianta quadrata di 50x50 metri di base, in quattro configurazioni: 40 e 70 piani e con organizzazione interna a open space e a uffici singoli;

! Edificio a pianta allungata di 70x36 metri di base, orientato con asse principale nord-sud, in quattro configurazioni: 40 e 70 piani e con organizzazione interna a open space e a uffici singoli;

! Edificio a pianta allungata di 36x70 metri di base, orientato con asse principale est-ovest, in quattro configurazioni: 40 e 70 piani e con organizzazione interna a open space e a uffici singoli;

Gli edifici hanno inoltre in comune le seguenti caratteristiche:

! Occupazione: 12 persone / m²; 8 litri / secondo di aria esterna a persona;

! Impianto di climatizzazione ad aria a volume variabile.

Forma	H piani	Seme stre	Riscal damento	Raffre scamento	Torri di evaporazione	Umidifi cazione	Acqua calda	Ventila tori	Pompe	Luci	Appar ecchiature	Ascen sori	Consu mo MWh	
Base quadr ata 50x50 metri	Con uff. peri metr ali	40	Inv	39,1%	0,0%	0,0%	0,4%	4,1%	14,4%	0,3%	14,1%	21,5%	6,1%	
			Est	2,3%	22,5%	1,2%	0,0%	4,7%	21,3%	1,6%	14,5%	25,0%	7,1%	
			Tot	20,6%	11,2%	0,6%	0,2%	4,4%	17,8%	0,9%	14,3%	23,2%	6,6%	14748
		70	Inv	36,9%	0,0%	0,0%	0,4%	3,8%	15,0%	0,4%	13,4%	20,2%	9,8%	
			Est	2,0%	22,1%	1,2%	0,0%	4,3%	21,5%	1,7%	13,3%	22,8%	11,1%	
			Tot	19,5%	11,0%	0,6%	0,2%	4,1%	18,3%	1,0%	13,4%	21,5%	10,4%	26208
	Ope n spac e	40	Inv	36,1%	0,0%	0,0%	0,4%	4,3%	14,1%	0,3%	15,6%	22,7%	6,4%	
			Est	2,0%	22,5%	1,2%	0,0%	4,7%	21,2%	1,6%	15,2%	24,7%	7,0%	
			Tot	19,1%	11,3%	0,6%	0,2%	4,5%	17,7%	0,9%	15,4%	23,7%	6,7%	14440
		70	Inv	33,6%	0,0%	0,0%	0,4%	4,0%	14,9%	0,3%	15,2%	21,3%	10,3%	
			Est	1,8%	22,2%	1,2%	0,0%	4,3%	21,5%	1,7%	13,6%	22,7%	11,0%	
			Tot	17,7%	11,1%	0,6%	0,2%	4,2%	18,2%	1,0%	14,4%	22,0%	10,7%	25593
Base 36x70 metri asse N-S	Con uff. peri metr ali	40	Inv	39,7%	0,0%	0,0%	0,4%	4,1%	14,1%	0,3%	13,7%	21,6%	6,1%	
			Est	2,3%	22,6%	1,2%	0,0%	4,8%	21,3%	1,6%	14,1%	25,1%	7,1%	
			Tot	21,0%	11,3%	0,6%	0,2%	4,4%	17,8%	0,9%	13,9%	23,3%	6,6%	14827
		70	Inv	37,5%	0,0%	0,0%	0,4%	3,8%	14,8%	0,4%	13,0%	20,2%	9,8%	
			Est	2,0%	22,2%	1,2%	0,0%	4,4%	21,6%	1,7%	13,0%	22,9%	11,1%	
			Tot	19,8%	11,1%	0,6%	0,2%	4,1%	18,2%	1,0%	13,0%	21,6%	10,5%	26349
	Ope n spac e	40	Inv	36,6%	0,0%	0,0%	0,4%	4,3%	14,0%	0,3%	15,6%	22,5%	6,4%	
			Est	2,0%	22,7%	1,2%	0,0%	4,8%	21,4%	1,6%	13,7%	25,4%	7,2%	
			Tot	19,3%	11,4%	0,6%	0,2%	4,6%	17,7%	0,9%	14,7%	24,0%	6,8%	14448
		70	Inv	34,0%	0,0%	0,0%	0,4%	4,0%	14,7%	0,3%	15,2%	21,1%	10,2%	
			Est	1,8%	22,3%	1,2%	0,0%	4,4%	21,6%	1,7%	12,4%	23,2%	11,3%	
			Tot	17,9%	11,2%	0,6%	0,2%	4,2%	18,2%	1,0%	13,8%	22,2%	10,8%	25692
Base 70x36 metri asse E-O	Con uff. peri metr ali	40	Inv	39,6%	0,0%	0,0%	0,4%	4,1%	14,2%	0,3%	13,9%	21,5%	6,1%	
			Est	2,3%	22,5%	1,2%	0,0%	4,8%	21,3%	1,6%	14,1%	25,1%	7,1%	
			Tot	20,9%	11,3%	0,6%	0,2%	4,4%	17,8%	0,9%	14,0%	23,3%	6,6%	14845
		70	Inv	37,3%	0,0%	0,0%	0,4%	3,8%	14,8%	0,4%	13,3%	20,2%	9,8%	
			Est	2,0%	22,1%	1,2%	0,0%	4,4%	21,5%	1,7%	13,0%	23,0%	11,1%	
			Tot	19,7%	11,1%	0,6%	0,2%	4,1%	18,2%	1,0%	13,1%	21,6%	10,5%	26375
	Ope n spac e	40	Inv	36,8%	0,0%	0,0%	0,4%	4,3%	13,9%	0,3%	15,4%	22,6%	6,4%	
			Est	2,0%	22,5%	1,2%	0,0%	4,7%	21,3%	1,6%	15,0%	24,7%	7,0%	
			Tot	19,4%	11,6%	0,6%	0,2%	4,5%	17,6%	0,9%	15,2%	23,6%	6,7%	14578
		70	Inv	34,2%	0,0%	0,0%	0,4%	4,0%	14,7%	0,3%	15,0%	21,1%	10,2%	
			Est	1,9%	22,2%	1,2%	0,0%	4,4%	21,5%	1,7%	13,2%	22,9%	11,1%	
			Tot	18,0%	11,1%	0,6%	0,2%	4,2%	18,1%	1,0%	14,1%	22,0%	10,7%	25780

Tab. 2.01 - I dati presentati in questa tabella, riferiti ad alcune tipologie di edifici per uffici situati a New York, sono stati calcolati dall'autore modificando un foglio di calcolo messo a disposizione da Mahadev Raman della sede newyorkese di ARUP.

Per le tre configurazioni di base della pianta dei grattacieli, sono state calcolati i consumi di due diverse configurazioni in pianta degli uffici (open space o suddivisi in moduli singoli), ognuna delle quali riferita a un edificio di 40 o 70 piani d'altezza. In totale, sono stati simulati 12 edifici, calcolando l'incidenza relativa delle principali voci di consumo, durante il semestre invernale, durante quello estivo, e nell'intero ciclo annuale. (D.T.)

Tab. 2.02 - I dati presentati in questa tabella, riferiti ad alcune tipologie di edifici per uffici situati a Houston, sono stati calcolati dall'autore modificando un foglio di calcolo messo a disposizione da Mahadev Raman della sede newyorkese di ARUP

Per le tre configurazioni di base della pianta dei grattacieli, sono state calcolati i consumi in pianta degli uffici (open space o suddivisi in moduli singoli), ognuna delle quali riferita a un edificio di 40 o 70 piani d'altezza. In totale, sono stati simulati 12 edifici, calcolando l'incidenza relativa delle principali voci di consumo, durante il semestre invernale, durante quello estivo, e nell'intero ciclo annuale. (D.T.)

Forma	H piani	Riscaldamento	Raffrescamento	Torri di evaporazione	Umidificazioni	Acqua calda	Ventilatori	Pompe	Luci	Apparecchiature	Apparecchiature	Ascensori	Consumo MWh	
Base quadrata 50x50 metri	Con uffici perimetri	40	Inv	10,2%	17,2%	90,8%	0,0%	4,5%	18,9%	1,4%	16,3%	23,8%	6,7%	14583
		Est	0,0%	28,6%	1,5%	0,0%	4,3%	21,7%	1,6%	13,2%	22,7%	6,4%		
		Tot	5,1%	22,9%	1,2%	0,0%	4,4%	20,3%	1,5%	14,8%	23,2%	6,6%		
	70	Inv	9,2%	17,2%	0,9%	0,0%	4,2%	19,3%	1,5%	15,3%	21,9%	10,6%	26167	
		Est	0,0%	27,8%	1,5%	0,0%	4,0%	21,9%	1,7%	12,2%	20,8%	10,1%		
		Tot	4,6%	22,5%	1,2%	0,0%	4,1%	20,6%	1,6%	13,8%	21,4%	10,4%		
	Open space	40	Inv	8,3%	17,6%	0,9%	0,0%	4,6%	18,9%	1,4%	17,2%	24,2%	6,9%	14514
		Est	0,0%	28,5%	1,5%	0,0%	4,3%	21,7%	1,6%	13,7%	22,5%	6,3%		
		Tot	4,1%	23,0%	1,2%	0,0%	4,4%	20,3%	1,5%	15,5%	23,3%	6,6%		
	70	Inv	7,3%	17,6%	0,9%	0,0%	4,2%	19,2%	1,5%	16,3%	22,2%	10,8%	26179	
		Est	0,0%	27,7%	1,5%	0,0%	3,9%	21,9%	1,7%	13,0%	20,5%	9,9%		
		Tot	3,7%	22,6%	1,2%	0,0%	4,1%	20,5%	1,6%	14,6%	21,3%	10,3%		
Base 36x70 metri asse N-S	Con uffici perimetri	40	Inv	10,3%	17,2%	0,9%	0,0%	4,6%	18,9%	1,4%	16,0%	23,9%	6,8%	14642
		Est	0,0%	28,7%	1,5%	0,0%	4,3%	21,8%	1,6%	12,8%	22,7%	6,4%		
		Tot	5,2%	22,9%	1,2%	0,0%	4,4%	20,4%	1,5%	14,4%	23,3%	6,6%		
	70	Inv	9,4%	17,2%	0,9%	0,0%	4,2%	19,3%	1,5%	15,0%	22,0%	10,7%	26277	
		Est	0,0%	27,9%	1,5%	0,0%	4,0%	22,0%	1,7%	11,9%	20,9%	10,1%		
		Tot	4,7%	22,6%	1,2%	0,0%	4,1%	20,7%	1,6%	13,4%	21,4%	10,4%		
	Open space	40	Inv	8,4%	17,6%	0,9%	0,0%	4,6%	18,9%	1,4%	17,3%	24,1%	6,8%	14571
		Est	0,0%	28,8%	1,5%	0,0%	4,3%	21,8%	1,6%	12,8%	22,7%	6,4%		
		Tot	4,2%	23,2%	1,2%	0,0%	4,5%	20,3%	1,5%	15,0%	23,4%	6,6%		
	70	Inv	7,6%	17,6%	0,9%	0,0%	4,3%	19,2%	1,5%	15,7%	22,4%	10,9%	26059	
		Est	0,0%	28,0%	1,5%	0,0%	4,0%	22,0%	1,7%	11,9%	20,8%	10,1%		
		Tot	3,8%	22,8%	1,2%	0,0%	4,1%	20,6%	1,6%	13,8%	21,6%	10,5%		
Base 70x36 metri asse E-O	Con uffici perimetri	40	Inv	10,3%	17,2%	0,9%	0,0%	4,5%	18,9%	1,4%	16,2%	23,8%	6,7%	14658
		Est	0,0%	28,7%	1,5%	0,0%	4,3%	21,8%	1,6%	12,9%	22,8%	6,4%		
		Tot	5,1%	22,9%	1,2%	0,0%	4,4%	20,3%	1,5%	14,5%	23,3%	6,6%		
	70	Inv	9,3%	17,2%	0,9%	0,0%	4,2%	19,3%	1,5%	15,2%	21,9%	10,6%	26306	
		Est	0,0%	27,9%	1,5%	0,0%	4,0%	22,0%	1,7%	11,9%	20,9%	10,2%		
		Tot	4,6%	22,5%	1,2%	0,0%	4,1%	20,6%	1,6%	13,5%	21,4%	10,4%		
	Open space	40	Inv	8,5%	17,6%	0,9%	0,0%	4,6%	18,8%	1,4%	17,1%	24,2%	6,8%	14773
		Est	0,0%	28,3%	1,5%	0,0%	4,2%	21,7%	1,6%	14,5%	22,1%	6,2%		
		Tot	4,3%	22,9%	1,2%	0,0%	4,4%	20,2%	1,5%	15,8%	23,1%	6,5%		
	70	Inv	7,6%	17,5%	0,9%	0,0%	4,2%	19,2%	1,5%	15,8%	22,3%	10,8%	26415	
		Est	0,0%	27,6%	1,5%	0,0%	3,9%	21,9%	1,7%	13,3%	20,3%	9,9%		
		Tot	3,8%	22,6%	1,2%	0,0%	4,1%	20,5%	1,6%	14,6%	21,3%	10,4%		

Involucro con 85% di superficie vetrata; trasmittanza delle parti opache 0,5 W / m²K; trasmittanza delle parti trasparenti 1 W / m²K; infiltrazione 0,15 ricambi/ora; raffrescamento con aria esterna quando la temperatura è inferiore a 13°C;

! Rapporto NRA / GFA di 0,87 per gli edifici di 40 piani e di 0,82 per la configurazione di 70 piani; 4 metri di altezza interpiano;

! Apporti interni: 130 W / persona di calore sensibile; 25 W / persona di calore latente; 150 W / persona di apparecchiature elettriche per 10 ore di occupazione/giorno;

! Illuminazione: 400 lux - 13 W / m²; rilevatori di luce naturale;

! Localizzazione: New York (NY) e Houston (TX);

I dati della simulazione compiuta, presentati nelle tabelle, sono suddivisi in: dato medio del semestre estivo; dato medio del semestre invernale; dato medio annuale.

Analisi e interpretazione dei dati

I risultati presentati forniscono un importante e utile *database* su cui fondare le successive analisi finalizzate a calibrare gli effetti delle diverse soluzioni progettuali del *service core* considerate.

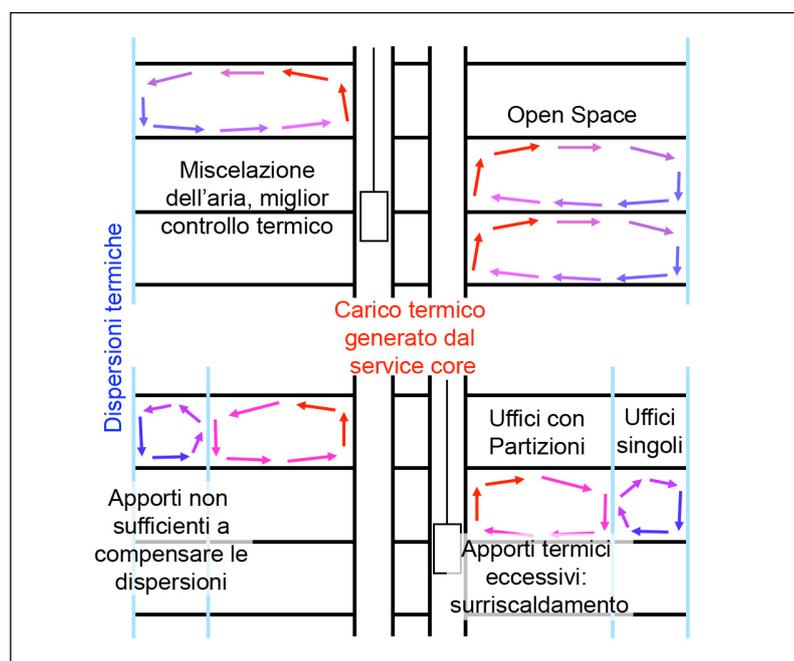
Il primo elemento che risulta evidente dall'osservazione delle tabelle è la marginale influenza della posizione geografica (New York e Houston) sui consumi degli edifici. La motivazione principale che sta alla base di questo fenomeno è la sostanziale "impermeabilità" dell'involucro usato nel modello. Esso infatti è caratterizzato da una buona tenuta alle infiltrazioni d'aria esterne, da una trasmittanza abbastanza bassa e da un'elevata schermatura alla radiazione solare, facilmente raggiungibile con l'utilizzo di vetri selettivi. Questi fattori fanno sì che l'edificio sia poco influenzato dal contesto climatico esterno, in particolare per quanto riguarda la radiazione solare. Maggiore è invece l'influenza della temperatura esterna, dato che essa modifica notevolmente l'incidenza dei sistemi di riscaldamento e di aria condizionata; solo per un caso fortuito, negli edifici analizzati, i differenti valori delle temperature esterne portano a due risultati di consumo finale molto simile in quanto compensati da altri fattori. Le prestazioni dell'involucro, e in particolare l'utilizzo di vetri selettivi, sono anche alla base della marginale influenza dell'orientamento dell'edificio.

Un secondo importante dato, spesso sottovalutato in molte analisi o grafici che forniscono dei parametri "di massima" dei consumi di un edificio alto, è rappresentato dalla variabilità dei valori direttamente dipendenti dall'altezza del fabbricato. Questo dato denuncia, come già descritto, il comune errore di voler applicare anche ai grattacieli le tecniche di valutazione e di

dimensionamento utilizzate per l'edilizia convenzionale trascurando, inspiegabilmente, la caratteristica peculiare di questa tipologia costruttiva: l'altezza. Come infatti si può notare, i consumi attribuibili agli ascensori e al pompaggio dei fluidi sono percentualmente differenti a seconda dell'altezza degli edifici analizzati. Il consumo degli ascensori, responsabile del 6,5% circa del totale in un edificio di 40 piani, aumenta in modo più che proporzionale con l'altezza raggiungendo il 10,5% medio dei consumi negli edifici di 70 piani ipotizzati nella simulazione. Anche l'energia richiesta al pompaggio dei fluidi, pur ricoprendo una quota del tutto marginale, cresce più rapidamente dell'incremento dell'altezza poiché, come per gli ascensori, aumentano contemporaneamente sia il quantitativo richiesto che l'altezza media di pompaggio.

E' interessante notare come gli edifici "open space" abbiano un consumo leggermente inferiore ai corrispondenti edifici suddivisi in uffici, in particolare nei casi di New York. La motivazione risiede nelle dinamiche interne dei flussi d'aria e, di conseguenza, del calore. Nei grattacieli *open space*, infatti, i carichi termici sviluppati nelle aree centrali del corpo dell'edificio compensano parzialmente le perdite di calore per irraggiamento e le infiltrazioni delle aree perimetrali più vicine all'involucro. Se la superficie dei piani è invece suddivisa in unità volumetricamente definite, la dispersione attraverso l'involucro non è compensata da adeguati carichi termici sviluppati all'interno delle singole unità ed è pertanto richiesto all'impianto di riscaldamento un maggiore apporto di calore. In questi edifici è infatti più probabile riscontrare il caso in cui sia contemporaneamente necessario sia il riscaldamento che il raffrescamento delle diverse zone dell'edificio. L'effetto risulta meno evidente negli edifici di Houston, proprio in virtù della minore

Img. 2.01 - Nei grattacieli per uffici che non presentano partizioni interne degli spazi, l'aria si miscela mosso dai naturali moti convettivi. In questo modo, durante i mesi invernali, gli apporti termici generati dal service core e dalle attività svolte ai vari piani sono in grado di compensare le dispersioni di calore attraverso l'involucro. Se invece sono presenti delle partizioni a tutta altezza che impediscono all'aria di miscelarsi le parti perimetrali si raffreddano a causa delle dispersioni e delle infiltrazioni d'aria, rendendo quindi necessario il ricorso al riscaldamento degli ambienti. Gli spazi interni, invece, si surriscaldano a causa dei carichi termici, rendendo necessario, anche in inverno, il raffrescamento. (D.T.)



incidenza dei consumi di riscaldamento dovuti al clima più caldo della città texana.

I dati presentano un consumo medio di circa 150 kW h m² / anno, sostanzialmente più basso rispetto al valore medio corrente. I parametri utilizzati dal foglio di calcolo sono infatti calibrati per conferire prestazioni energetiche particolari all'involucro e alcuni accorgimenti (sensori di luce, sensori di presenza) vengono utilizzati per ridurre il dispendio di energia nelle ore di scarso utilizzo. Inoltre, l'edificio viene considerato "funzionante" per un intervallo limitato di tempo (dieci ore al giorno) mentre, per le rimanenti 14 ore e durante le festività, sono considerati solo alcuni consumi "marginali". Questa condizione, imposta dalla strutturazione originale del foglio di calcolo e non modificabile, allontana il funzionamento dell'edificio simulato da un edificio reale, concentrando i consumi su un arco temporale abbastanza breve e riducendo, di conseguenza, il valore annuale.

I dati dell'analisi effettuata vengono presentati in termini percentuali poiché, al fine della presente ricerca e più in generale come elemento utile per la conoscenza di questa tipologia edilizia, le ripartizioni percentuali delle varie voci di consumo assumono una maggiore importanza rispetto al corrispondente valore assoluto.

- ¹ Richard G. Stein, "Observations on Energy Use in Buildings", *Journal of Architectural Education* volume 30, n° 3 (1977).
- ² Mahadev Raman, "Aspects of Energy Consumption in Tall Office Building", *CTBUH Journal* volume 1, n° 3, Autunno (2001).
- ³ Marja-Liisa Siikonen, *Planning and Control Models for Elevators in High-Rise Buildings*, (Helsinki University of Technology: 1998, PhD Thesis).
- ⁴ Harvey M. Sachs, *Opportunities for elevator energy efficiency improvements*, (Washington: American council for energy efficient Economy, 2005) [report interno].



L'evoluzione dei consumi: 5 generazioni di edifici alti.

L'evoluzione dei consumi

Le variabili precedentemente individuate come i fattori responsabili del bilancio energetico di un grattacielo hanno assunto, nel corso del secolo scorso, un'importanza mutevole. Sulla base dei dati disponibili in letteratura è possibile proporre una suddivisione della storia dei grattacieli in 5 generazioni¹, ognuna delle quali caratterizzata da alcuni aspetti degli edifici in grado di influenzarne i consumi di energia. La suddivisione, sebbene cerchi di indicare delle date precise per il passaggio da una generazione a quella successiva, deve essere intesa in modo indicativo e il punto di riferimento a un evento preciso fornito nella descrizione è utile unicamente per descrivere il contesto all'interno del quale avvenne la variazione. Tuttavia è importante sottolineare che i tempi del progetto di un grattacielo sono diversi da quelli della "cronaca" ed è pertanto frequente che edifici concettualmente appartenenti a una generazione vengano costruiti o completati all'interno della generazione successiva.

Inoltre, sebbene lo studio sia generalizzabile agli edifici costruiti in tutto il mondo, le prime due generazioni di grattacieli fanno riferimento in particolare agli edifici di Chicago e, più frequentemente, di New York.

La prima generazione: dalla nascita dei grattacieli alla Zoning Law

I primi grattacieli comparsi a Chicago e a New York sulla fine del 1800 erano caratterizzati da un consumo molto basso, prevalentemente derivante da energia prodotta in situ tramite la combustione di fonti energetiche solide (legna, carbone), liquide (gasolio combustibile) o gassose. L'energia termica prodotta era in gran parte utilizzata per il riscaldamento invernale degli ambienti interni e per la produzione dell'energia necessaria alla motorizzazione dei primi ascensori. Inoltre gli uffici più prestigiosi erano dotati di un camino a legna o di una stufa a carbone molto richiesti, oltre che per l'apporto fornito al riscaldamento della stanza, anche per questioni di arredamento e di decoro.

Il livello di illuminazione interno era molto basso², compreso tra 20 e 40 lux, garantito dall'impiego di lampade a gas o a incandescenza, entrambe tuttavia caratterizzate da una resa molto inferiore alle lampadine attuali.

Nonostante questi edifici utilizzassero già la struttura portante metallica e i muri fossero quindi esonerati da funzioni portanti, questi ultimi erano comunque caratterizzati da una struttura massiva, derivante dalla tradizione architettonica dell'edilizia convenzionale. Le parti opache, che ricoprivano in molti casi il 60-70% della superficie totale, erano costruite con materiali

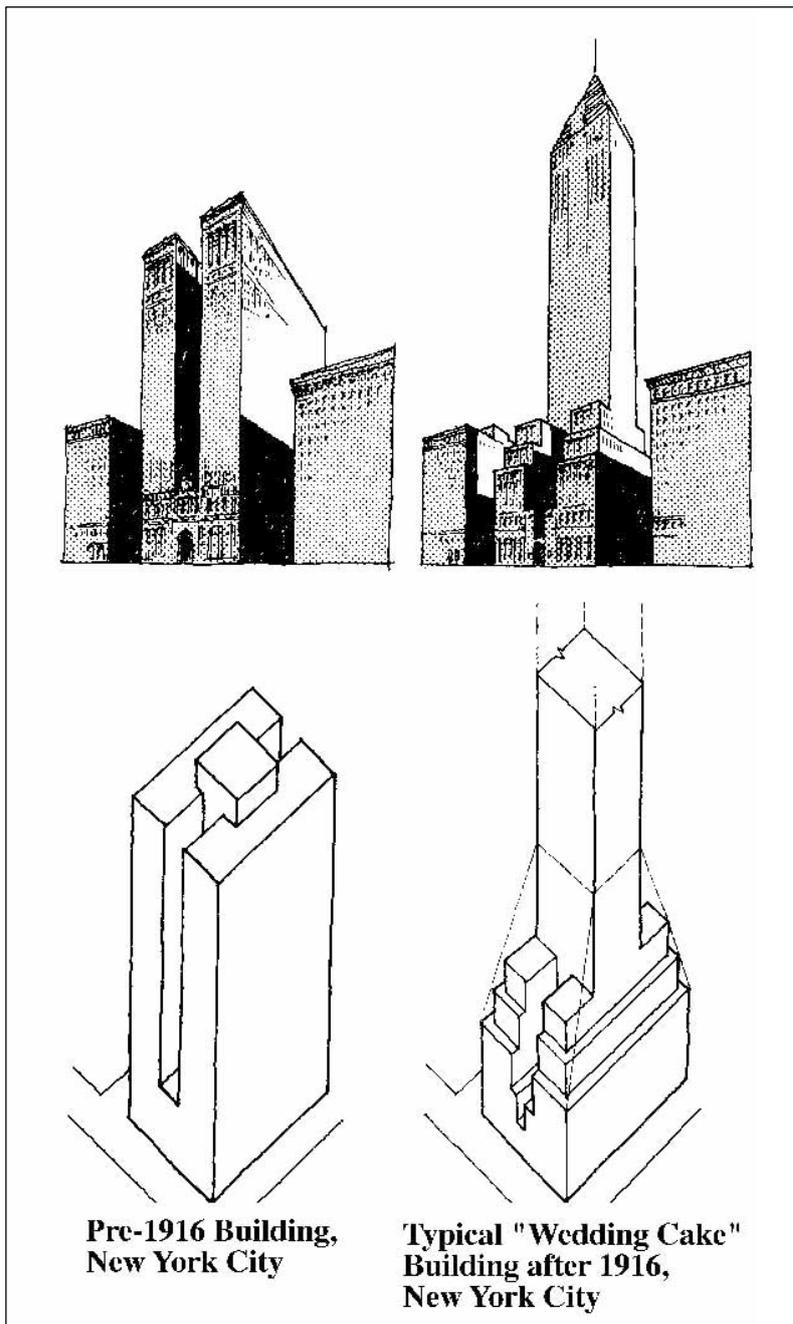
pesanti, generalmente mattoni pieni, e rivestiti con lastre di pietra da taglio o di terracotta. Le superfici trasparenti erano invece costituite da finestre apribili tradizionali, con vetro singolo e infisso in legno, presto sostituito con profili in ferro per migliorare la resistenza al fuoco degli edifici. Nonostante gli involucri fossero privi di materiale isolante, la massa stessa dei materiali contribuiva a preservare le condizioni di comfort termico interno, evitando i repentini sbalzi di temperatura.

Un ulteriore elemento che giocava un ruolo positivo nel contenere i consumi degli edifici di questa generazione era costituito dal rapporto tra volume e superficie disperdente dell'involucro. Gli edifici di questa generazione erano infatti le semplici estrusioni verticali del lotto sul quale sorgevano, finalizzati a realizzare la massima superficie commerciabile disponibile e costruiti secondo la geometria migliore per favorire la penetrazione dell'illuminazione naturale in tutti i locali.

Il caso forse più rappresentativo di grattacielo della prima generazione è tuttavia l'Equitable Building di New York, terminato nel 1915. L'edificio si sviluppa per 36 piani sfruttando completamente la superficie disponibile del lotto e realizzando un massa tanto compatta da essere stato, secondo alcuni, la causa determinante dell'approvazione della Zoning Law.

La seconda generazione: dal 1916 alla diffusione dei Curtain Wall vetrati

L'approvazione, nel 1916, della Zoning Law di New York, fissò un momento di discontinuità importante nella storia dei grattacieli. La norma urbanistica, le cui ragioni e caratteristiche tecniche verranno descritte in seguito, contribuì a modificare sostanzialmente la forma degli edifici e, unitamente all'introduzione di altre innovazioni tecnologiche e impiantistiche, modificò il comportamento energetico dei grattacieli di New York. Di fatto, la Zoning Law consentiva la costruzione di torri (senza limiti di altezza) solo su di una superficie pari al 25% della superficie del lotto, creando quindi i presupposti per degli edifici molto più alti e snelli di quelli della generazione precedente. Nonostante questa legge avesse un'influenza locale, limitata alla sola città di New York, Carol Willis giustamente sottolinea che "lo stile del *setback* rappresentò la forma più consona per i grattacieli, dalla quale nacque uno stile sia moderno sia distintamente americano che definì, di conseguenza, un nuovo modo di dare forma alle città"³. I numerosi esempi di grattacieli costruiti al di fuori di Manhattan che riprendevano la caratteristica forma a "*wedding cake*" (torta nuziale) imposta dalla Zoning Law sono la prova di come questa determinò, in maniera esplicita, una nuova moda, uno "stile" di progettazione per gli edifici alti moderni. Pertanto, sebbene gli esempi più rappresentativi della seconda generazione di grattacieli debbano essere

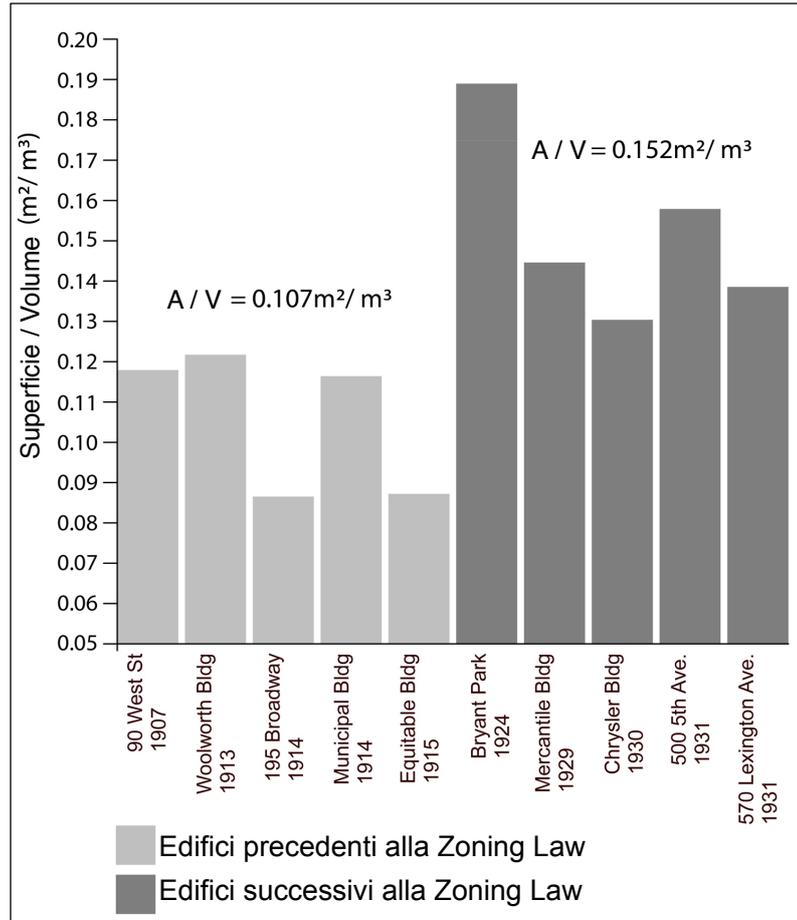


Img. 3.01 - La Zoning Law del 1916 modificò, per legge, la forma degli edifici e di conseguenza influenzò direttamente anche il loro comportamento energetico. Il completo laissez-faire degli anni precedenti venne sostituito da una regola che imponeva degli arretramenti al corpo di fabbrica, in base a un angolo caratteristico di ogni zona della città. Solo su una superficie pari al 25% del lotto era consentita la costruzione di una torre alta, potenzialmente, all'infinito.

ricercati a New York, la classificazione presentata può essere considerata valida anche per i grattacieli costruiti nelle principali città americane.

Analizzando la volumetria di alcuni edifici precedenti e successivi l'adozione della norma urbanistica è possibile osservare un evidente aumento del rapporto tra la superficie dell'involucro e la volumetria costruita, sintomatico di una maggiore snellezza delle geometrie realizzate. Ciò ebbe delle influenze dirette sul consumo di energia⁴ specialmente nei climi freddi delle città del centro-nord America. La maggiore estensione dell'involucro favoriva infatti le dispersioni termiche, sia tramite lo scambio di calore attraverso le superfici opache, sia a causa della modesta tenuta all'aria delle di finestre presenti, che aumentarono in numero in maniera proporzionale alla superficie di involucro disponibile.

Img. 3.02 - Con l'entrata in vigore della zoning law, aumentò il rapporto tra superficie e volume degli edifici, che divennero più snelli per la presenza delle alte torri. (Fonte: Oldfield P., Trabucco D., Wood A.)



Gli edifici della seconda generazione iniziarono inoltre a integrare in maniera estensiva degli impianti di ventilazione forzata e, a partire dagli anni '30, i primi impianti di raffrescamento dell'aria. Questo contribuì a un innalzamento dei consumi di energia, soprattutto durante il periodo estivo e a una diversificazione delle fonti di approvvigionamento.

In questo periodo si ridusse infatti la percentuale di energia prodotta in situ, a favore della connessione alle reti di distribuzione urbana che fornivano spesso, oltre all'energia elettrica, anche l'acqua calda e il vapore prodotti dagli impianti urbani di cogenerazione.

Il consumo di energia elettrica si diffuse, oltre che agli ascensori e agli impianti di condizionamento e ventilazione, anche all'illuminazione. Le lampade a gas, poco sicure e dalle prestazioni modeste, furono ovunque sostituite dalle lampade a incandescenza che, sebbene iniziassero a fornire un'illuminazione migliore, erano tuttavia ancora inadeguate a soddisfare appieno le esigenze di illuminazione, rendendo quindi gli edifici ancora fortemente dipendenti dall'illuminazione naturale. Questo fatto, a causa della dimensione ridotta delle finestre, limitava la profondità degli spazi utilizzabili per le attività produttive; il *curtain wall* vetrato, nonostante fosse già tecnicamente realizzabile, era però vietato dalle normative antincendio, a causa del pericolo che le fiamme si potessero propagare ai piani superiori tramite l'esterno dell'edificio. Solo nel corso degli anni '50 numerose città

iniziarono a consentire l'uso delle superfici interamente vetrate, dando così inizio al periodo dell'International Style.

La terza generazione: dal 1951 alla prima crisi energetica.

Al termine della Seconda Guerra Mondiale, il mercato immobiliare iniziò a risvegliarsi dallo stato di atrofia in cui era crollato da quasi un ventennio a causa della crisi del 1929 prima e dello scoppio del conflitto mondiale poi. Nei nuovi grattacieli che vennero costruiti nei primi anni '50 furono adottate molte delle innovazioni tecnologiche che si erano sviluppate negli anni precedenti, in conseguenza all'impulso tecnologico promosso dalla guerra e perfezionato in ambito civile.

La possibilità di utilizzare il vetro per la realizzazione degli involucri, la diffusione delle lampade a fluorescenza e l'avvento dell'aria condizionata provocarono una radicale trasformazione delle voci di consumo di un grattacielo. Molti fattori si concatenarono trasformando il grattacielo in una "scatola di vetro", priva di relazioni con il mondo e con l'ambiente esterno. Tra questi, i principali possono essere:

! Il superamento (a New York) dei vincoli imposti dalla Zoning Law e la conseguente possibilità di realizzare, in cambio della dotazione di spazi pubblici, edifici di una volumetria maggiore. Di fatto il grattacielo passava dalla forma a wedding cake a una forma prismatica regolare arretrata rispetto al fronte strada e dotata di una piazza pubblica. Questo consentiva di realizzare superfici di solaio più grandi.

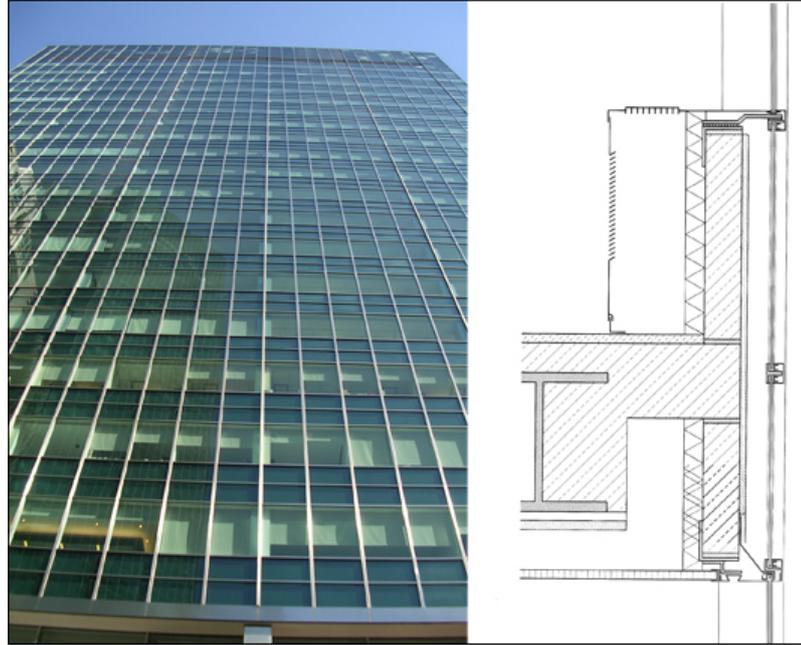
! La diffusione delle lampade a fluorescenza che permettevano di illuminare efficacemente anche le parti di edificio poste a grande distanza dall'involucro e, di conseguenza, dall'illuminazione naturale proveniente dall'esterno. Anche questo fattore permise di creare superfici di solaio più grandi.

! A causa delle accresciute dimensioni dei solai e della sigillatura delle grandi finestre a tutta altezza dei curtain wall, la ventilazione e la climatizzazione interna dovevano essere garantite da un sistema meccanico di condizionamento ricambio dell'aria.

! Le grandi superfici vetrate riducevano l'inerzia termica dell'edificio e ne causavano una maggiore sensibilità agli sbalzi di calore rendendo spesso necessario, anche nell'arco della stessa giornata, il repentino passaggio dalla necessità di riscaldare l'edificio a quella di raffrescarlo.

! La bassa inerzia termica del curtain wall vetrato unito alla presenza di forti apporti indesiderati di temperatura all'interno dell'edificio (dovuti alle attività svolte al suo interno) portavano al contemporaneo bisogno, in diverse zone dell'edificio, di un'azione di riscaldamento delle aree perimetrali e di raffrescamento della parte centrale del service core.

Img. 3.03 & 3.04 - La Lever house di New York può essere considerato il primo grattacielo della terza generazione. Caratterizzato da un curtain wall interamente vetrato viene spesso descritto come il primo edificio interamente dipendente dalla ventilazione meccanica.



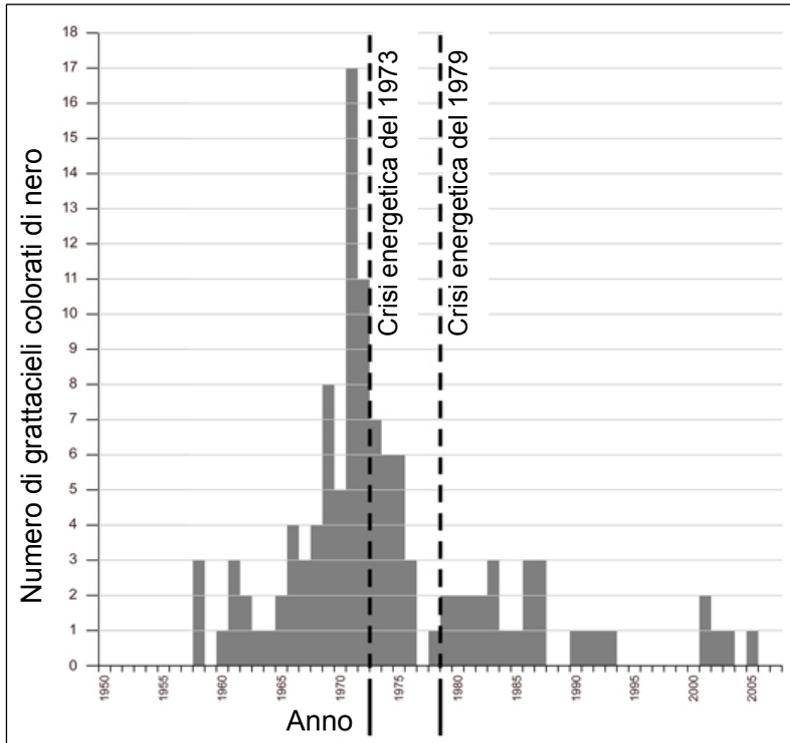
Oltre a questi fattori, che si legano reciprocamente tra loro rendendo i grattacieli della terza generazione degli edifici ad alto assorbimento di energia, un altro fattore, dettato esclusivamente da esigenze estetiche, contribuì ad aumentare ulteriormente il consumo d'energia: la colorazione dell'edificio. Molti edifici infatti, seguendo la "moda" lanciata dai Lake Shore Drive Apartments di Mies van der Rohe, adottarono una colorazione scura, generalmente nera o più raramente marrone o grigia. Queste tinte sono caratterizzate da un elevato assorbimento della radiazione solare, maggiormente riflessa, invece, dalle vernici con pigmentazioni più chiare. La costruzione di grattacieli con colorazioni scure raggiunse il suo apice nel 1973; da quel momento in poi, la fine della "moda" o, più probabilmente, la crisi energetica conseguente lo *shock* petrolifero, cambiarono radicalmente il modo di progettare gli edifici alti.

La quarta generazione: dal 1974 al presente

La crisi energetica che colpì tutti i settori dell'economia dei Paesi Occidentali ebbe delle severe ricadute anche nel mondo dell'architettura. Le diverse leggi promulgate dai vari Governi per ridurre i consumi energetici degli edifici interessarono anche il modo in cui i grattacieli venivano costruiti e gestiti.

Sebbene dal punto di vista compositivo le forme prismatiche dei grattacieli dell'International Style continuarono a rimanere in voga, è possibile comunque rilevare una minore profondità dei volumi realizzati, ottenuta tramite geometrie più snelle o una maggiore frammentazione della planimetria degli edifici.

Il confronto più evidente tra edifici della terza e della quarta generazione può essere osservato nel quartiere parigino La Défense, tra torre Fiat e il vicino



grattacielo ELF. Originariamente concepito come un complesso di due torri gemelle, il progetto venne però interrotto nel 1974, quando solo uno dei due fabbricati era stato realizzato. Nel 1985 venne completato, sulla porzione del lotto precedentemente riservata all'edificio gemello, una nuova torre. L'edificio, occupato dalla ELF, ha la stessa superficie e la stessa altezza del vicino grattacielo, ma da un paragone tra i due è possibile individuare i principali caratteri distintivi tra le due generazioni successive di edifici alti. La torre ELF è infatti rivestita con un vetro basso emissivo di colorazione chiara, dotato di finestre apribili; la planimetria ha un andamento molto più irregolare, creando così una frammentazione dei volumi che fa apparire l'edificio meno massiccio rispetto al suo vicino, caratterizzato invece da un involucro nero e da una forma geometrica rigorosamente definita. Grazie alla maggiore frammentazione dei volumi, nell'edificio ELF la luce esterna penetra più agevolmente all'interno dei volumi consentendo, per un gran numero di ore al giorno, l'illuminazione naturale degli ambienti di lavoro. Inoltre, la possibilità di aprire le finestre permette per alcuni mesi all'anno la ventilazione naturale degli ambienti, riducendo ulteriormente il consumo energetico. Tuttavia, nonostante queste modifiche dell'impianto architettonico di numerosissimi grattacieli costruiti a partire dalla seconda metà degli anni '70, i consumi energetici degli edifici alti continuarono ad aumentare, a causa della sempre maggiore diffusione di apparecchiature elettriche (computer, stampanti, ecc) all'interno degli ambienti di lavoro, sia a causa del loro consumo diretto che a causa del maggiore carico termico sul sistema di condizionamento in regime estivo. Dal punto di vista energetico i grattacieli della quarta generazione possono essere definiti "code

Img. 3.05 & Tab. 3.01 - Mies van der Rohe, con i grattacieli costruiti a Chicago e New York durante gli anni '50 definì lo stile dell'edificio alto moderno. Seguendo il suo esempio, numerosi architetti proposero grattacieli caratterizzati da una colorazione scura dell'involucro. Il colore nero, che può essere inteso come la caratteristica distintiva dei grattacieli della terza generazione, assorbe gran parte della radiazione solare incidente, contribuendo al surriscaldamento degli ambienti interni degli uffici. (3.05 Fonte: Oldfield P., Trabucco D., Wood A.)(3.01 Fonte: Pilkington)

Materiale	Assorbimento della radiazione solare
Vernice nera	95
Vernice grigia	91
Mattoni rossi	70
Calcestruzzo a vista	65
Mattoni chiari	60
Vernice bianca	30

Img. 3.06 & 3.07- Il progetto del complesso FIAT nel quartiere parigino de La Défense prevedeva, originalmente, due torri gemelle con tutti i caratteri distintivi della terza generazione. Quando la prima torre venne completata, la crisi energetica mise in evidenza le criticità del progetto: la colorazione scura, le ampie dimensioni dei solai, la sigillatura dell'involucro ecc. giocavano un ruolo negativo nei confronti del bilancio energetico dell'edificio. La torre ELF, nella foto di destra, può essere considerata come una gemella "transgenica" della torre FIAT. Pur avendo la stessa altezza e la stessa superficie totale ha una silhouette più frammentata, che permette una maggiore penetrazione della luce naturale attraverso i vetri selettivi che formano il curtain wall. Grazie anche alle finestre apribili e altre caratteristiche tecnologiche, la torre ELF è un buon esempio di grattacielo della quarta generazione.



compliant", ovvero costruiti con il solo obiettivo di soddisfare i requisiti minimi delle normative vigenti nel momento della loro progettazione.

La quinta generazione: dal 1997 ai giorni nostri; una nuova generazione in via di affermazione.

Sebbene gli edifici della quarta generazione siano ancora la tipologia di torri più frequentemente costruita, lo stato dell'arte nella progettazione dei grattacieli ha fatto, nell'ultimo decennio, alcuni importanti passi avanti. La quinta generazione rappresenta quindi un'eccezione rispetto alle altre perché non succede, rimpiazzandola, alla generazione precedente, né la sua nascita è segnata da una discontinuità dettata da eventi esterni. Infatti, nonostante il continuo affinarsi delle leggi per il risparmio energetico che devono essere rispettate dalle nuove costruzioni, alcuni edifici vengono progettati "andando oltre" gli obiettivi minimi fissati dalle normative. La differenza principale di questi grattacieli, che dal punto di vista architettonico non differiscono molto da quelli della precedente generazione, risiede dunque in una particolare attenzione alla salvaguardia energetica raggiunta non semplicemente in ottemperanza alle leggi vigenti, ma con un intento di sperimentazione e di ricerca originale.

Il primo esempio di grattacielo della quarta generazione può essere forse individuato nella Commerzabank di Norman Foster, realizzata nel 1997 a Francoforte. L'edificio, oltre ai migliori dispositivi per il risparmio energetico disponibili all'epoca, è caratterizzato da una serie di accorgimenti architettonici (l'ampio atrio centrale, i giardini pensili) e tecnologici (l'involucro, i pannelli radianti) che hanno contribuito a superare addirittura le aspettative di efficienza dell'edificio.

Alcuni dei grattacieli che possono essere inseriti in questa ultima generazione dispongono, oltre che di numerosi sistemi elettronici per il controllo e il contenimento dei consumi, anche di dotazioni tecnologiche

finalizzate alla produzione in situ dell'energia derivante dalle fonti rinnovabili. I sistemi più comunemente adottati possono essere ascritti in due grandi famiglie, a seconda che sfruttino l'energia del vento o del sole, oltre a quelli, non derivanti da fonti rinnovabili, che ottimizzano lo sfruttamento di combustibili fossili nelle celle CHP (*Combined Heat and Power*, produzione combinata di elettricità e calore).

5 generazioni di grattacieli a confronto.

L'analisi effettuata permette di evidenziare la relazione esistente tra le caratteristiche architettoniche e tecnologiche dei vari edifici esaminati e il loro consumo di energia. In particolare è interessante notare i numerosi fattori "esterni" alla progettazione che, di fatto, si ripercuotevano sul funzionamento dei grattacieli: la volumetria, le caratteristiche dell'involucro, la distribuzione interna dei grattacieli non erano infatti influenzate, nelle prime tre generazioni, solo dalle correnti architettoniche o dalle esigenze dei committenti ma erano solitamente soggette a vincoli più stringenti di natura legislativa o, più frequentemente, alle limitazioni tecnologiche dell'epoca. L'inefficiente funzionamento dell'illuminazione artificiale (a gas prima, elettrica in un secondo momento) fu per molto tempo il vincolo maggiore alle libertà espressive dei progettisti: la necessità, fino a Secondo Dopo Guerra, di illuminare con la luce esterna gli ambienti di lavoro, limitava di fatto la profondità massima degli spazi commerciabili a 9 metri di distanza dalle finestre.

Solo negli anni '50, con la ripresa dell'economia e grazie ai progressi tecnologici compiuti dall'industria bellica, i limiti di illuminazione-ventilazione degli edifici vennero definitivamente superati, permettendo così la costruzione di edifici dalle dimensioni inedite. L'illuminazione artificiale e la ventilazione forzata peggiorarono però notevolmente le prestazioni energetiche dei grattacieli, contribuendo a creare l'immagine energivora negativa spesso evocata da questa tipologia edilizia negli osservatori.

La tabella riportata evidenzia le caratteristiche salienti dei grattacieli delle varie generazioni individuate, elencandone i pregi e i difetti in funzione del loro impatto sulle prestazioni dell'edificio e sul suo consumo di energia.



Img. 3.08 - La Trump Condo tower di New York, completata nel 2001 è un esempio abbastanza raro di edificio dalla colorazione scura costruito dopo la crisi energetica. Sotto molti aspetti architettonici e tecnologici, il grattacielo è molto simile alle torri della terza generazione.

Tab. 3.02 - La tabella riassume i principali caratteri distintivi delle prime tre generazioni di grattacieli. Nonostante i grattacieli delle prime due generazioni possano sembrare a prima vista molto simili, la volumetria dettata dalla zoning law di New York modificò i caratteri principali dei grattacieli costruiti dopo il 1916: oltre questa data anche gli costruiti in città nelle quali non vigevano vincoli urbanistici, adottarono lo stile a wedding cake, simbolo stesso della modernità.

I grattacieli della terza generazione, nati dopo la diffusione dei curtain wall vetrati, sono invece responsabili della diffusa ostilità nei confronti di questa tipologia edilizia. A causa infatti della sigillatura dell'involucro e della dipendenza da fonti di ventilazione e illuminazione artificiali, i grattacieli di questa generazione sono caratterizzati da alti consumi di energia. Per questi motivi inoltre, gli edifici alti costruiti durante gli anni 50 e 60 creavano delle cattive condizioni ambientali interne, spesso descritte sotto il nome di sick building syndrome. (Fonte: Oldfield P., Trabucco D., Wood A.)

	Prima generazione <i>Dalla nascita dei grattacieli al 1916, data di emanazione della Zoning Law a New York</i>	Seconda Generazione <i>Dalla Zoning Law del 1916 all'utilizzo del primo curtain wall vetrato, nel 1951</i>	Terza Generazione <i>Dall'utilizzo del curtain wall vetrato nel 1951 alla prima crisi energetica nel 1971</i>
Caratteristiche generali che influenzano la performance energetica	<ul style="list-style-type: none"> - Forma compatta (ampia volumetria vs. Superficie limitata dell'involucro) - Alti livelli di inerzia termica dell'involucro - Bassa percentuale di superfici vetrate - Le principali voci di consumo sono gli ascensori e il riscaldamento 	<ul style="list-style-type: none"> - forma più snella (minore volumetria in rapporto alla superficie di involucro) - Alti valori di inerzia termica dell'involucro - bassa percentuale di superfici vetrate - prima diffusione dei sistemi di condizionamento dell'aria 	<ul style="list-style-type: none"> - Forma compatta (ampia volumetria vs. Superficie limitata dell'involucro) - Involucro a basse prestazioni, curtain wall singolo strato - Grandi superfici trasparenti realizzate con vetri colorati - Totale dipendenza da sistemi di ventilazione e illuminazione artificiale - Consistente numero di grattacieli con una colorazione scura
Superficie dell'edificio / volume (m²/ m³)	<ul style="list-style-type: none"> - 90 West Street, <i>New York</i>: 0.118 - Woolworth Building, <i>New York</i>: 0.122 - 195 Broadway, <i>New York</i>: 0.087 - Municipal Building, <i>New York</i>: 0.118 - Equitable Building, <i>New York</i>: 0.088 <p>Media: 0.107</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Bryant Park Tower, <i>New York</i>: 0.189 - Mercantile Building, <i>New York</i>: 0.144 - Chrysler Building, <i>New York</i>: 0.130 - 500 5th Avenue, <i>New York</i>: 0.158 - 570 Lexington Ave, <i>New York</i>: 0.138 <p>Media: 0.152</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Lever House, <i>New York</i>: 0.164 - Seagram Building, <i>New York</i>: 0.123 - City National Tower, <i>Los Angeles</i>: 0.089 - One IBM Plaza, <i>Chicago</i>: 0.088 - Tour Fiat, <i>Parigi</i>: 0.089 <p>Media: 0.111</p>
Illuminazione interna (lux)	86-97	108 - 269	1076 - 1615
Trasmittanza tipica dell'involucro (W/m²K)	Informazioni non reperite. Valori presumibilmente compresi tra 2.0 – 3.0	- Empire State Building, <i>New York</i> : 2.6	- Lake Shore Drive Apartments, <i>Chicago</i> : 4.2 - Lever House, <i>New York</i> : 3.3
Percentuale di superfici trasparenti	<ul style="list-style-type: none"> - Woolworth Building, <i>New York</i>: 21% - Equitable Building, <i>New York</i>: 25% - Municipal Building, <i>New York</i>: 29% 	<ul style="list-style-type: none"> - Chrysler Building, <i>New York</i>: 32% - Empire State Building, <i>New York</i>: 23% - 500 5th Ave, <i>New York</i>: 32% 	<ul style="list-style-type: none"> - Lake Shore Drive Apartments, <i>Chicago</i>: 72% - Lever House, <i>New York</i>: 53% - City National Tower, <i>LA</i>: 53%
Strategie di ventilazione	Ventilazione naturale attraverso le finestre. Successivamente, sono stati trasformati con l'aggiunta di impianti meccanizzati	Ventilazione naturale attraverso le finestre. Successivamente, sono stati trasformati con l'aggiunta di impianti meccanizzati	Sigillatura totale dell'involucro, completamente dipendenti dalla ventilazione meccanica.

	Quarta Generazione Dalla crisi energetica del 1973 al presente	5th Energy Generation Dalla riconoscimento delle esigenze della salvaguardia ambientale nel 1997 al presente
Caratteristiche generali che influenzano la performance energetica	- Forma compatta (ampia volumetria vs. Superficie limitata dell'involucro) - Involucro costituito da curtain wall stratificati ad alte prestazioni - Alte percentuali di trasparenza dell'involucro con buona trasmissione della luce - Completa dipendenza dalla climatizzazione artificiale.	- Forma compatta (ampia volumetria vs. Superficie limitata dell'involucro) - Involucro costituito da curtain wall stratificati ad alte prestazioni - Alte percentuali di trasparenza dell'involucro con buona trasmissione della luce - Sfruttamento delle possibilità offerte dalla ventilazione naturale - Promozione della generazione in situ dell'energia
Superficie dell'edificio / volume (m² / m³)	- First Canadian Place, <i>Toronto</i> : 0.077 - Wells Fargo Plaza, <i>Houston</i> : 0.087 - One Canada Square, <i>Londra</i> : 0.079 - UOB Plaza, <i>Singapore</i> : 0.112 - Cheung Center, <i>Hong Kong</i> : 0.084 Media: 0.088	- Commerzbank, <i>Francoforte</i> : 0.161 - GSW Headquarters, <i>Berlino</i> : 0.221 - Deutsche Post Building, <i>Bonn</i> : 0.152 - Hearst Tower, <i>New York</i> : 0.100 - Bank of America Tower, <i>New York</i> : 0.096 Media: 0.146
Illuminazione interna (lux)	377 – 1076	377 – 484
Trasmittanza tipica dell'involucro (W/m²K)	- Wells Fargo Plaza, <i>Houston</i> : 1.5 - Cheung Kong Center, <i>Hong Kong</i> : 0.9	- Deutsche Post Building, <i>Bonn</i> : 1.1 - Bank of America Tower, <i>New York</i> : 0.9
Percentuale di superfici trasparenti	- Wells Fargo Plaza, <i>Houston</i> : 82% - One Canada Square, <i>London</i> : 43% - Cheung Kong Center, <i>Hong Kong</i> : 52%	- Commerzbank, <i>Frankfurt</i> : 54% - Hearst Tower, <i>New York</i> : 63% - Bank of America Tower, <i>New York</i> : 71%
Strategie di ventilazione	Sigillatura totale dell'involucro, completamente dipendenti dalla ventilazione meccanica.	Sfruttamento delle possibilità offerte dalla ventilazione naturale. Involucri a doppia pelle spesso utilizzati in climi favorevoli.

Tab. 3.03 - La tabella riassume i tratti salienti degli edifici appartenenti alla quarta e alla quinta generazione.

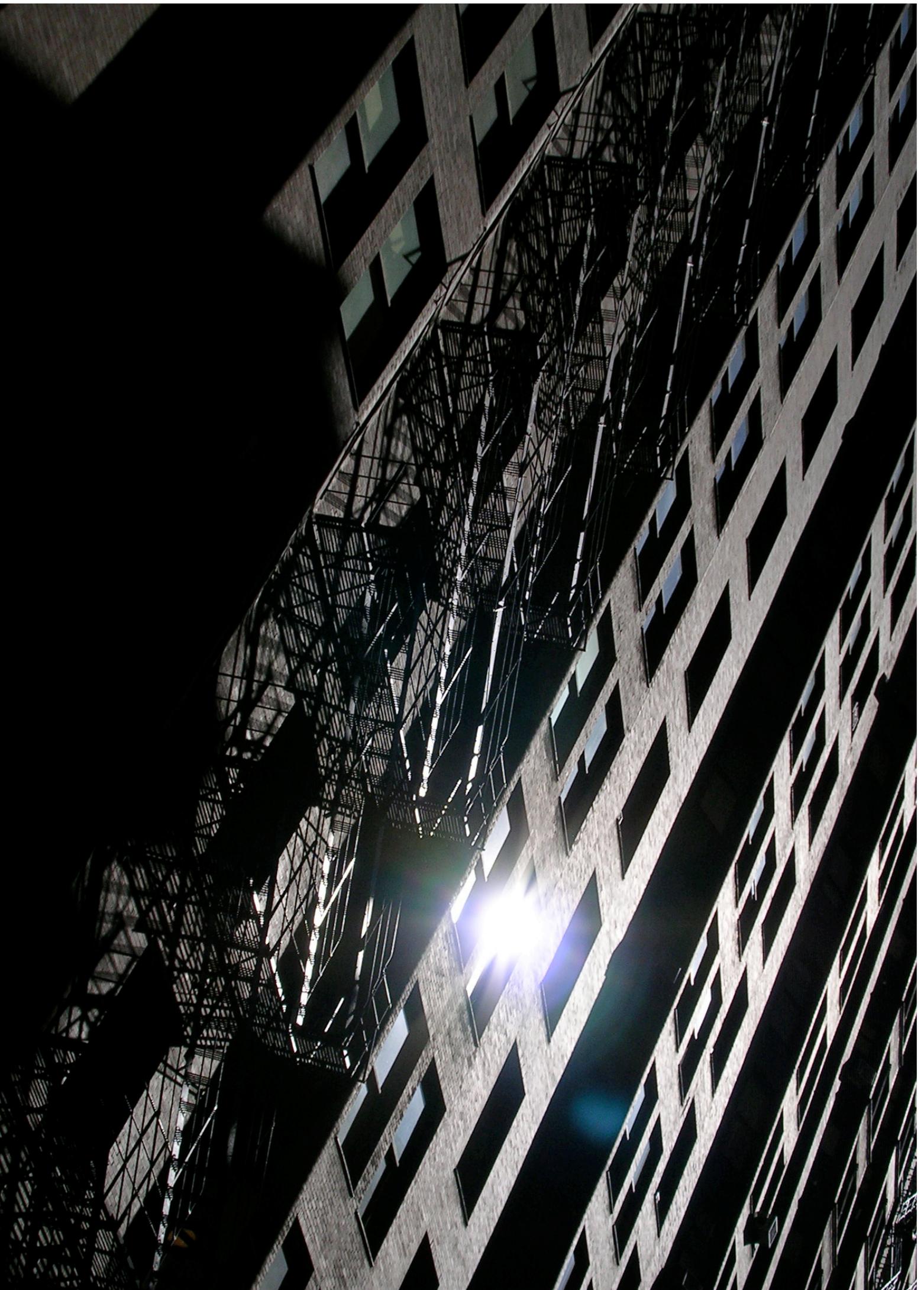
Gli edifici costruiti dopo le crisi energetiche degli anni '70 sono caratterizzati da consumi notevolmente inferiori rispetto a quelli realizzati nei periodi precedenti. Nonostante si costruiscano ancora moltissimi grattacieli della quarta generazione, alcuni progetti spingono l'efficienza energetica a un livello superiore. I grattacieli della quinta generazione si distinguono da quelli della quarta per andare oltre i valori minimi fissati dalle normative per il risparmio energetico indirizzandosi, in alcuni casi, verso un bilancio "zero" ottenuto tramite la generazione in situ dell'energia. (Fonte: Oldfield P., Trabucco D., Wood A.)

¹ Philip Oldfield, Dario Trabucco, Antony Wood, "Five Energy Generations of Tall Buildings: A Historical Analysis of Energy Consumption in High Rise Buildings", atti del convegno internazionale: *Tall&Green, CTBUH World Congress 2008, Dubai, UAE 2-5 Marzo 2008*, a cura di Wood A., (Chicago: CTBUH, 2008)

² Warner K.E. Osterhaus "Office lighting: a review of 80 years of standards and recommendations", Atti del convegno internazionale: *1993 IEEE. Industry Applications Society Annual Meeting, 2-8 Oct 1993*, a cura di AA.VV., (New York: IEEE, 1993)

³ Carol Willis, "Zoning and Zeitgeist: The Skyscraper city in the 1920s", *Journal of the society of architectural historians* volume 45, (1986)

⁴ Patrick Depecker, Charles Menezo, "Design of buildings shape and energetic consumption", *Building and Environment*, Volume 36, n° 5, (2001).



L'embodied energy di un grattacielo

L'embodied energy: un fattore critico degli edifici alti.

La realizzazione di un grattacielo è spesso osteggiata da molti per il grande consumo di risorse energetiche e di materie prime richieste da questo genere di costruzioni. Pur non volendo compiere un confronto tra i grattacieli e altre tipologie edilizie, è però necessario riconoscere alcuni fattori che giocano a svantaggio dell'edificio alto nella determinazione della sua *embodied energy*. Le maggiori criticità sono da attribuire alla caratteristica stessa dei grattacieli: l'altezza. Questo parametro, infatti, è il principale responsabile dei tre fenomeni che incidono in maniera più rilevante sul loro bilancio dell'*embodied energy*:

! Il “*premium for height*”;

! *La scelta del sistema strutturale e la conseguente efficienza nell'utilizzo dei materiali;*

! *La riduzione del rapporto di efficienza di utilizzo dello spazio.*

A questi si affiancano alcuni altri fattori, non direttamente collegati all'altezza, ma che rappresentano comunque un elemento caratteristico di molti edifici alti:

! *La scelta dei materiali impiegati;*

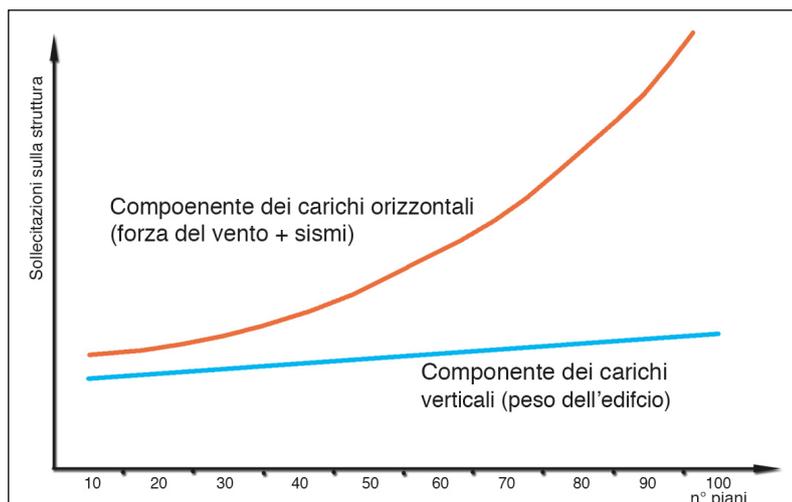
! *La tecnologia del sistema di involucro.*

Il premium for height

“Fazlur Khan comprese per la prima volta il fatto che, con il crescere dell'altezza di un edificio, c'è uno scotto da pagare dovuto ai carichi orizzontali. Questi, facendo aumentare notevolmente le prestazioni richieste al sistema strutturale, incrementano in maniera esponenziale il consumo di materiale strutturale necessario”.¹ Il ragionamento di Khan, sviluppato durante la progettazione del John Hancock Center di Chicago negli anni '60 (prima quindi delle crisi energetiche) è volto a comprendere non tanto il consumo di materiali e di risorse, quanto piuttosto l'aumento dei costi di realizzazione di una struttura al crescere della sua altezza. Adottando però lo stesso principio è possibile comprendere un importante fattore direttamente legato all'altezza che agisce a detrimento della sostenibilità di un grattacielo. Il principio del *premium for height* spiega l'esponenziale aumento degli sforzi a cui la struttura di un edificio deve resistere e, di conseguenza, il crescente impegno di materiali necessari.

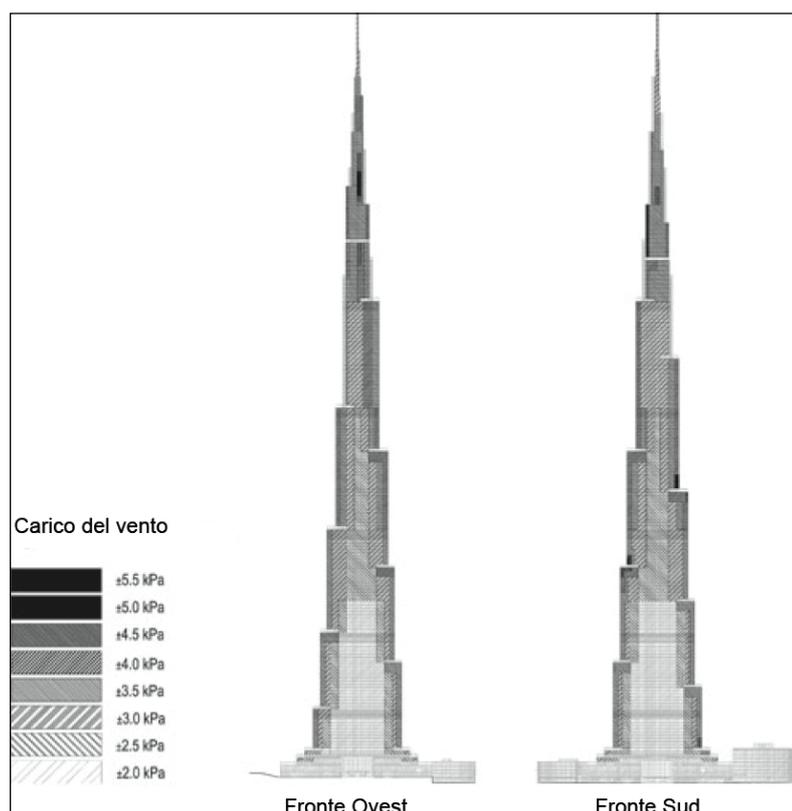
La struttura portante di un edificio di altezza convenzionale (basata su una maglia di pilastri) è infatti dimensionata, più che in funzione dei carichi reali,

Img. 4.01 - Il Premium for heigh, formalizzato da Fazlur Khan negli anni sessanta, indica il progressivo incremento delle necessità strutturali al crescere dell'altezza dell'edificio. (D.T.)

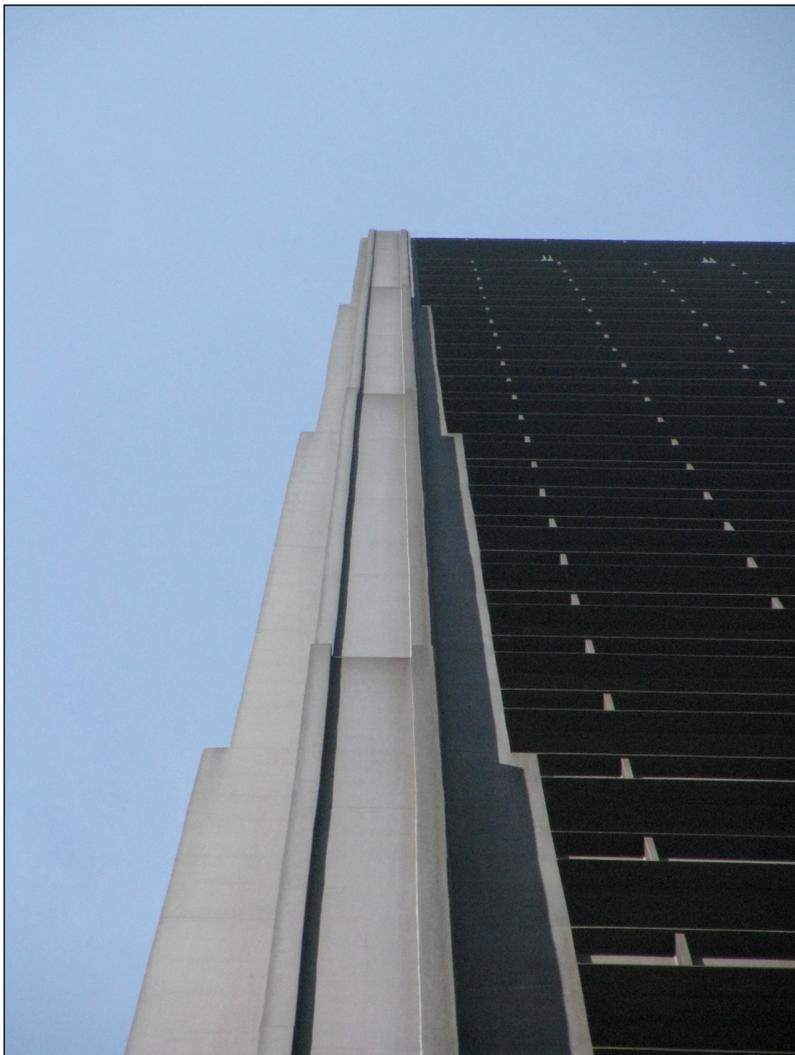


in funzione alla sezione minima che i pilastri devono avere per non andare incontro al fenomeno di rottura dovuto ai carichi di punta. Al crescere dell'altezza, il peso reale dei carichi da sostenere diventa progressivamente più consistente fino a diventare il fattore determinante per il dimensionamento degli elementi verticali. La superficie occupata dagli elementi strutturali è determinata dal rapporto tra la sommatoria dei carichi portati e la resistenza caratteristica del materiale impiegato. Il loro volume è determinato, di conseguenza, dalla superficie dei singoli elementi moltiplicata per l'altezza di interpiano.

I carichi portati dal piano terreno di un edificio comprendono però anche il peso delle strutture verticali soprastanti, a loro volta influenzate dai singoli carichi di esercizio: di conseguenza, la superficie e il peso delle strutture



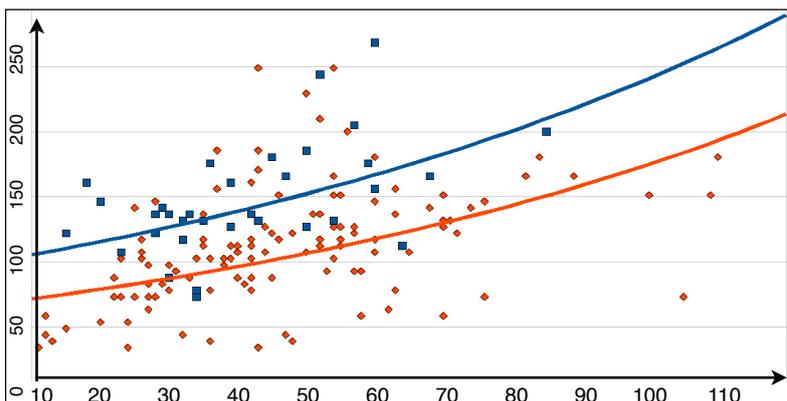
Img. 4.02 - La forza del vento aumenta di intensità al crescere dell'altezza di rilevamento. Molti edifici, soprattutto quelli più alti, hanno una forma rastremata per ridurre progressivamente la superficie che oppone resistenza, e di conseguenza gli sforzi sul sistema strutturale dell'edificio.



Img. 4.03 - La struttura portante del Daley Building di Chicago è suddivisa tra un core centrale e una struttura perimetrale di pilastri con luci di 24 metri. Ai pilastri è affidata solo la funzione di trasferire i carichi verticali dati dal peso della struttura mentre il controventamento laterale è dato dal core. In questo grattacielo è insolitamente evidente la progressiva riduzione della sezione dei pilastri, solitamente non percepibile in altri grattacieli ma qui utilizzata come elemento architettonico a tutti gli effetti.

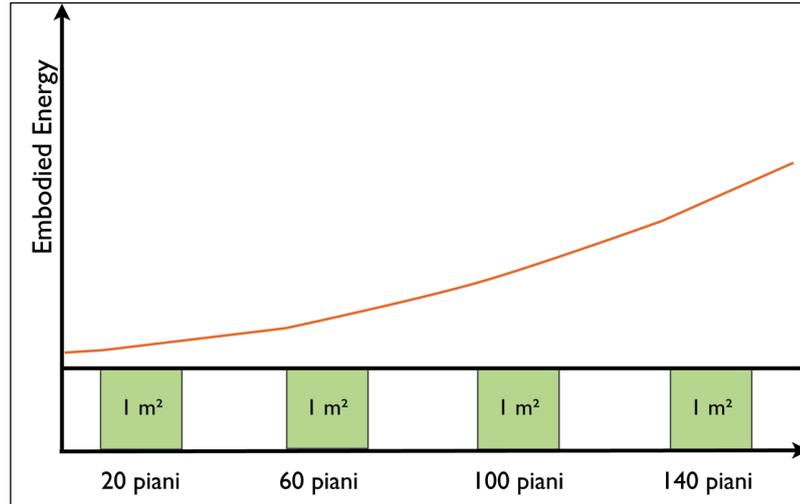
portanti crescono secondo una funzione di secondo grado. Poiché i carichi dovuti al peso della struttura stessa sono poco rilevanti se paragonati alla massa totale della costruzione, la parabola viene solitamente rappresentata, per approssimazione, con un segmento lineare.

All'aumentare dell'altezza di un edificio, si assiste però a un altro fenomeno, sottolineato esplicitamente da Khan: la progressiva rilevanza dei carichi orizzontali dovuti alla forza del vento e dei sismi. Il vento agisce infatti come una forza orizzontale che tende a ribaltare la struttura del grattacielo il cui schema statico di base è paragonabile a una mensola incastrata al terreno.



Img. 4.04- Grazie alle intuizioni di F. Khan vennero sviluppati nuovi schemi strutturali molto più efficienti di quelli disponibili fino agli anni '60. In questo grafico è indicato il peso della struttura (Kg / m^2) della struttura portante di 160 grattacieli a struttura in acciaio. In blu sono indicati gli edifici storici realizzati fino al 1960, in rosso quelli costruiti dal 1960 in poi, quando iniziarono a diffondersi le nuove tipologie strutturali. Nonostante il numero di variabili che possono condizionare il dimensionamento delle strutture portanti di un grattacielo, è comunque possibile apprezzare il miglioramento dell'efficienza raggiunto. (D.T.)

Img. 4.05- L'embodied energy di un grattacielo è fortemente influenzata dall'energia immagazzinata durante il processo di fabbricazione e posa in opera dei materiali necessari alle strutture portanti. A seconda dell'altezza del grattacielo, il bilancio di energia di ogni unità di superficie è dunque influenzato dalla massa della struttura portante, crescente secondo la legge del premium for height. (D.T.)

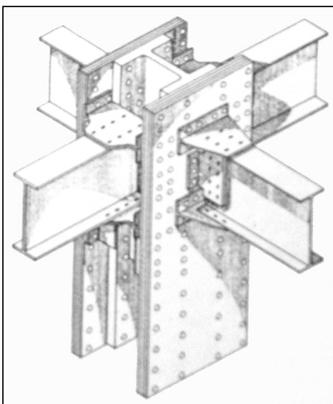


Il momento sulla struttura aumenta dunque anch'esso al crescere dell'altezza secondo una funzione di grado superiore al primo. Poiché la forza del vento è maggiore al crescere dell'altezza dal suolo i carichi orizzontali a cui la struttura portante dell'edificio deve essere in grado di resistere saranno, a una determinata altezza (dipendente dalla forma dell'edificio e dalle condizioni di progetto), superiori ai carichi verticali. Si individuano così due curve che rappresentano, rispettivamente, il volume della struttura che deve essere in grado di resistere ai carichi verticali e il volume di quella che oppone resistenza ai carichi orizzontali. La sommatoria delle due funzioni rappresenta il quantitativo complessivo dei materiali delle strutture del grattacielo. Tuttavia, poiché in un edificio alto una parte della struttura svolge entrambe le funzioni, la curva che rappresenta l'effettivo volume è generalmente più bassa della somma algebrica delle due componenti.

Richiamando il concetto dell'*embodied energy* associata ai materiali, risulta evidente come per la realizzazione di una unità di superficie di un edificio alto sia necessaria una crescente quantità di materiale in funzione dell'altezza dell'edificio.

La scelta del sistema strutturale

Il ragionamento di Khan diede il via a una complessa ondata di ricerca per la definizione di nuovi sistemi strutturali e l'individuazione di materiali innovativi che potessero affiancarsi o sostituire l'acciaio. I sistemi di calcolo disponibili fino a quel momento avevano comunque reso possibile la realizzazione di numerosi edifici di grande altezza come, per esempio, l'Empire State Building di New York che detenne fino al 1973 il titolo di grattacielo più alto del mondo. La capacità di costruire edifici così alti non era dovuta a "una rilevante evoluzione tecnologica, ma piuttosto a un abbondante uso di materiali strutturali. A causa dell'assenza di avanzate tecniche di analisi questi edifici erano piuttosto sovradimensionati"².



Img. 4.06 - Il nodo strutturale dell'Empire State Building evidenzia il tipo di incastro rigido dei vari elementi lineari metallici. La resistenza ai carichi orizzontali è data, negli edifici alti antecedenti alla seconda guerra mondiale, dalla massa dell'involucro e dal sovradimensionamento della struttura.

La messa a punto di nuovi sistemi strutturali, molti dei quali sviluppati dallo stesso Khan, permise di creare una notevole varietà di soluzioni disponibili per i progettisti per rispondere al meglio alle sollecitazioni imposte dal contesto esterno o alle esigenze funzionali ed estetiche del grattacielo.

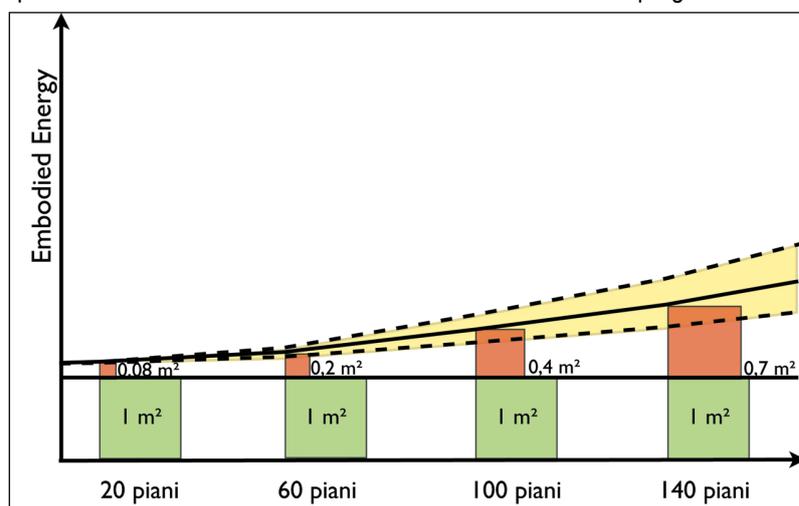
Riconoscendo la preminente importanza dei carichi orizzontali, i sistemi strutturali possono essere suddivisi in sistemi centrali (interni) o perimetrali (esterni) a seconda che l'elemento che risponde ai carichi orizzontali sia un core centrale o un sistema diffuso su tutta la superficie dell'edificio. Possono essere inoltre individuati sistemi misti in cui la resistenza ai carichi laterali è ripartita tra un elemento centrale e degli elementi periferici.

Le ricerche in corso nell'ambito dell'ingegneria strutturale spingono verso la messa a punto di schemi statici sempre più efficienti che siano in grado di migliorare il rapporto tra la quantità dei materiali usati e gli sforzi da contrastare. Gli sforzi si concentrano in particolare sull'implementazione di nuove geometrie strutturali e nella messa a punto di materiali innovativi dalle elevate prestazioni di resistenza.

Oltre al *premium for height* delle strutture verticali, va anche annoverato l'incremento delle opere di fondazione necessarie al crescere delle dimensioni dell'edificio. Queste però, essendo in larga misura determinate dalla tipologia del sottosuolo, variano considerevolmente da zona a zona e non possono essere pertanto considerate come esclusiva conseguenza dell'altezza.

La riduzione del rapporto di efficienza di utilizzo dello spazio.

La progettazione di un grattacielo richiede, come è facile intuire, uno sforzo notevole al fine di riuscire a ottimizzare al meglio l'uso della superficie dei piani e, in generale, dell'intera costruzione. I regolamenti edilizi della maggior parte delle città prevedono infatti una volumetria massima edificabile in funzione della superficie del lotto disponibile; all'interno di questa volumetria le scelte architettoniche e distributive del progettista sono



Img. 4.07- La riduzione del rapporto di efficienza dello spazio (NRA/GFA) peggiora il bilancio dell'embodied energy per unità di superficie del grattacielo: al crescere dell'altezza della costruzione infatti, la superficie utile deve farsi carico dell'energia necessaria per realizzare le strutture del service core. Le linee gialle tratteggiate rappresentano i due casi limiti della progettazione: la capacità del progettista di ottimizzare gli spazi del service core permette di ridurre l'embodied energy per unità di superficie del grattacielo. Al contrario, una cattiva organizzazione interna o un utilizzo delle superfici poco efficiente, peggiora il rapporto NRA/GFA. (D.T.)

in grado di fare la differenza e di decretare il successo o l'insuccesso economico di un intervento immobiliare. L'indicatore più rappresentativo dell'efficienza della progettazione è pertanto espresso dal rapporto tra la superficie netta dell'edificio (NRA - Net Rentable Area) e la superficie totale realizzata (GFA - Gross Floor Area) comprendente gli elementi strutturali, i collegamenti verticali e gli altri vani tecnici che non possono essere computati come superficie affittabile ma che sono indispensabili al funzionamento dell'edificio. Al crescere dell'altezza di quest'ultimo aumenta in modo non lineare il numero di ascensori necessari, l'ingombro delle strutture verticali e delle altre componenti "tecniche" e si riduce così il rapporto di efficienza NRA / GFA.

La comprensione di questo fenomeno risulta rilevante ai fini dell'analisi della sostenibilità quando viene considerato in funzione dell'impiego dei materiali necessari alla realizzazione dell'edificio. Ogni unità di superficie realmente utilizzabile, infatti, deve farsi carico anche dell'*embodied energy* contenuta nei materiali necessari a renderla accessibile, cioè impiegati nella realizzazione nel *service core* e delle altre superfici indispensabili al funzionamento del grattacielo. Poiché il rapporto NRA / GFA decresce all'aumentare dell'altezza si comprende come, a parità di tecnologia costruttiva, l'*embodied energy* di un edificio alto sia, per unità di superficie utile, superiore al valore di un edificio più basso.

La scelta dei materiali impiegati;

Oltre alle ingenti quantità di acciaio o calcestruzzo utilizzato per le esigenze strutturali, gli edifici alti sono caratterizzati dal largo impiego di altri materiali aventi un elevato valore di *embodied energy*. L'utilizzo di materiali pregiati e caratterizzati da particolari prestazioni meccaniche è motivato da una serie di ragioni:

! L'immagine di modernità che l'edificio deve trasmettere espressa architettonicamente mediante l'impiego di superfici vetrate, profilati in alluminio e altri elementi metallici;

! Le sollecitazioni esterne a cui l'edificio deve resistere, dovute alla maggiore esposizione al vento e agli altri fenomeni climatici rispetto a un edificio più basso, che rendono necessario l'impiego di materiali sigillanti, metalli non ossidabili e comunque in grado di resistere al meglio all'azione degli agenti atmosferici;

! Le normative antincendio, che rendono difficile l'utilizzo di legno, tessuti e altri materiali di derivazione naturale caratterizzati da una limitata resistenza al fuoco.

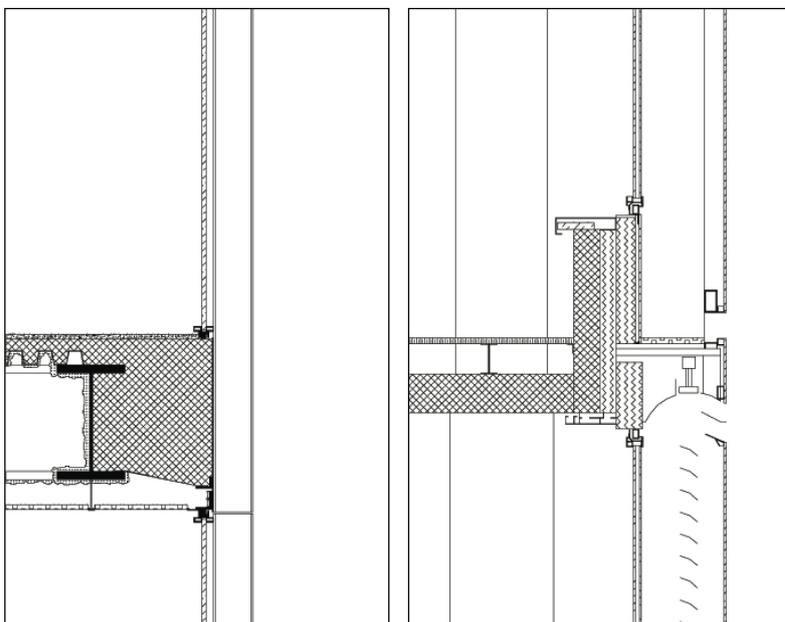
Gli spazi interni di un grattacielo per uffici sono inoltre rifiniti, a causa delle esigenze specifiche insite nella destinazione d'uso, utilizzando componenti

complessi, spesso formati da pacchetti multi-materiale, impiegati per rendere più confortevole e funzionale lo spazio interno.

Un'ulteriore caratteristica negativa che penalizza il bilancio di *embodied energy* di un edificio alto è data dalla frequenza degli interventi di rinnovamento e aggiornamento tecnologico degli spazi interni, dovuti alle mutevoli esigenze degli occupanti, che provocano la continua dismissione dei materiali prima della naturale conclusione del loro ciclo di vita.

La tecnologia del sistema di involucro.

La ricerca di una maggiore sostenibilità ambientale del costruito ha interessato, parallelamente alle altre tipologie edilizie, anche l'edificio alto. A differenza di edifici più tradizionali però, la prevalente vocazione terziaria dei grattacieli, e il conseguente bisogno di illuminazione naturale da parte degli utenti, ha fatto sì che l'efficienza energetica dei grattacieli seguisse una strada diversa rispetto all'edilizia convenzionale. Se i requisiti di controllo termo-igrometrico vengono infatti raggiunti, negli edifici tradizionali, tramite l'inserimento di consistenti pacchetti di materiali isolanti, un intervento simile risulta difficilmente applicabile a un grattacielo, caratterizzato frequentemente dalla presenza continua di curtain wall vetrati. La totale trasparenza dell'involucro, divenuta da oltre un cinquantennio uno degli elementi distintivi degli edifici alti, preclude l'uso di materiali isolanti ma richiede, di fatto, la moltiplicazione del pacchetto di involucro. Alla singola lastra selettiva antisfondamento dei primi grattacieli miesiani si è infatti presto sostituito il vetrocamera, che ha di fatto duplicato il quantitativo di vetro necessario per unità di superficie delle chiusure verticali. La tendenza attuale a realizzare involucri a doppia pelle ha ulteriormente aumentato la quantità di materiale impiegato. Inoltre, la presenza di chiusure più



Img. 4.08 & 4.09 - L'evoluzione dei sistemi di involucro porta a un continuo aumento del numero e della quantità di materiali utilizzati per la realizzazione delle chiusure verticali degli edifici alti. La ripetizione di strati, se da un lato produce una riduzione dei consumi energetici, provoca dall'altro un aumento dell'*embodied energy* complessiva. E' evidente come la sezione semplice della chiusura del Toronto Dominion Center di Mies van der Rohe (a sinistra) richieda una quantità di materiali e di lavorazioni inferiori rispetto a un moderno curtain wall a doppia pelle (a destra, il Business Center di Norimberga)



Img. 4.10 - Il 30 St. Mary Axe, noto come Swiss Re Tower è stato scelto come oggetto dell'analisi grazie alla relativa abbondanza di dati disponibili.

complesse incrementa il quantitativo di profilati (generalmente in alluminio) e di sigillanti necessari per sostenere il carico di vetrate sempre più pesanti.

Quantificazione dell'*embodied energy* di un edificio alto.

A differenza dei consumi di energia è molto più difficile calcolare, anche a livello generale, l'importanza percentuale delle singole voci dell'*embodied energy* di un grattacielo. Nel caso dell'*embodied energy* è infatti maggiore il numero di variabili (interne o esterne all'edificio) che possono incidere in modo significativo sul bilancio globale di un grattacielo. Al fine di determinare a grandi linee il valore dell'*embodied energy* di un edificio alto è stata stimata, in base ai dati disponibili in letteratura, l'incidenza che hanno i principali elementi (strutture verticali e orizzontali e chiusure esterne) di un esempio di riferimento.

Il caso di studio preso in esame è il 30 St. Mary Axe, conosciuto come Swiss Re Tower, costruito nella City di Londra su disegno di Norman Foster. L'edificio è molto noto e studiato per l'attenzione prestata dai progettisti alle tematiche ambientali e, soprattutto, per alcune soluzioni adottate per contenere i consumi energetici legati all'uso dell'edificio. Un aspetto altrettanto importante, che purtroppo viene raramente considerato nelle analisi di questo grattacielo, è che la stessa attenzione dedicata alla riduzione dei consumi di energia è stata riservata anche all'ottimizzazione dell'uso dei materiali³, mirando a ridurre, oltre ai costi, anche l'*embodied energy* dell'edificio. La struttura di elevazione verticale in particolare, grazie alla forma circolare dell'edificio e all'utilizzo di una tipologia strutturale denominata *diagrid*, sfrutta al meglio le proprietà del materiale di cui è composta, consentendo un notevole risparmio di materie prime rispetto a degli schemi statici più convenzionali.

La struttura dell'edificio è formata da 8500 tonnellate di acciaio, il 47% delle quali è impiegato per gli elementi orizzontali, il 29% per la struttura di elevazione verticale a *diagrid* e il rimanente 24% per le colonne verticali che, in corrispondenza degli ascensori centrali, creano il punto di appoggio per i solai. Le fondazioni e i getti di completamento dei solai hanno richiesto circa 8.000 m³ di cemento, mentre la realizzazione dell'involucro ha comportato il consumo di circa 150 tonnellate di alluminio e 415 m³ di vetro. La tabella riporta il corrispondente quantitativo di *embodied energy* necessario per la produzione dei materiali necessari alla realizzazione delle unità tecnologiche essenziali dell'edificio.

Materiale	Quantità	Per unità	Totale
Acciaio	8500 t	32 MJ / kg	75000 MWh
Cemento	8000 m ³	2350 MJ / m ³	5200 MWh
Vetro	415 m ³	37550 MJ / m ³	4300 MWh
Alluminio	150 t	227 MJ / kg	8900 MWh
TOTALE			93400 MWh

Tab. 4.01 - Embodied energy dei materiali usati per la realizzazione delle principali unità tecnologiche del 30 St. Mary Axe di Norman Foster. (D.T.)



I dati contenuti nella tabella rappresentano tuttavia una ridotta percentuale dei materiali necessari e la loro somma è pari a un peso complessivo di circa 30.000 tonnellate. Il peso dell'edificio, stimato in base al dimensionamento delle fondazioni, è quantificabile in circa 80.000 tonnellate, in larga misura dovute all'utilizzo di materiali di complessa lavorazione che hanno quindi immagazzinato al loro interno, durante la produzione e le successive lavorazioni, notevoli quantità di energia. Di conseguenza è possibile stimare una *embodied energy* totale del grattacielo di circa 500GWh, comprendenti anche le operazioni di preparazione del sito, scavo delle fondazioni e finitura degli spazi interni.

In generale, se non si considerassero le strutture di elevazione verticale, tutti i piani di un grattacielo avrebbero, grossomodo, la stessa *embodied energy*. Inoltre, sempre escludendo le strutture verticali, questo valore sarebbe sostanzialmente indipendentemente dall'altezza totale della costruzione. Le strutture di elevazione orizzontale di ogni piano possono essere infatti considerate costanti in tutti i livelli di un grattacielo nonostante, ai piani più bassi, possa essere presente un leggero ispessimento delle travi principali (dovuto agli sforzi di flessione indotti dalla deformazione delle strutture⁴). Inoltre sono assolutamente costanti anche le caratteristiche delle chiusure verticali, delle partizioni interne e delle principali componenti impiantistiche. Escludendo il *service core*, la cui superficie decresce



Img. 4.11 & 4.12 - La Hearst Tower di Foster a New York, è uno dei più conosciuti esempi a diagrid. Grazie a questo tipo di struttura, formata da elementi diagonali che si uniscono formando dei triangoli rigidi, è possibile realizzare delle importanti economie di materiali.

Altezza piani	Peso diagrid simulata da Kyoung Moon (t)	Rapporto tra i pesi (40 piani=100%)	Peso stimato della diagrid del 30 St. May Axe, per analogia (t)
40	821	100	2464 (8500*0,29)
50	1.855	226	5.567
60	3.822	466	11.471
70	6.882	838	20.654
80	11.574	1.410	34.736
90	18.412	2.243	55.258
100	27.703	3.374	83.143

Tab. 4.02 - Il peso di una struttura a diagrid (sebbene differente da quella dell'edificio analizzato) aumenta in maniera più che proporzionale con l'altezza, seguendo la legge del premium for height. Per analogia è possibile estrapolare un dato che indichi, almeno qualitativamente, l'andamento del peso della struttura dell'edificio studiato, al crescere della sua altezza. (Fonte: Moon K. Elaborazione D.T.)

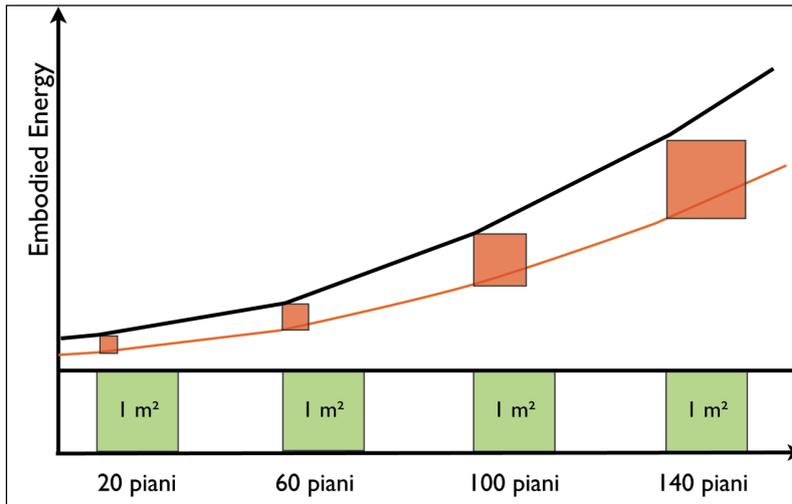
progressivamente, l'unità tecnologica che subisce le modifiche più rilevanti, in funzione dell'altezza a cui viene costruita, è dunque la struttura di elevazione verticale. Sottraendo dal valore complessivo la quota parte ascrivibile alla *diagrid* si ottiene quindi, per l'edificio di riferimento, una *embodied energy* per piano di circa 13 GWh.

Una struttura a *diagrid* "pura" (ovvero non dotata di elementi verticali di sostegno) ha ovviamente, in funzione dell'altezza dell'edificio, un peso crescente con un andamento simile a quello enunciato da Khan per le altre configurazioni statiche. Per determinare l'incidenza che la variazione dell'altezza complessiva della struttura ha sull'aumento del suo stesso peso è stato necessario attingere a dei dati disponibili in letteratura. Una ricerca compiuta da Kyoung Moon⁵ evidenzia, grazie a una simulazione digitale, il progressivo aumento di peso di una struttura a *diagrid* dovuto alla modifica di alcuni parametri. Alla variazione dell'altezza dell'edificio, calcolata ogni 10 piani, la quantità di acciaio necessario per realizzare la struttura, mantenendo fissi gli altri parametri, aumenta secondo la progressione evidenziata in tabella.

Altezza piani	Rapporto tra i pesi della <i>diagrid</i> (edificio reale = 100%)	Embodied energy totale dell'edificio (GWh)	Incidenza dell'embodied energy dovuta alla struttura (% sul totale)	Embodied energy totale per piano (GWh)
40	100	502	4,33%	13
50	226	649	7,57%	13
60	466	821	12,34%	14
70	838	1022	17,83%	15
80	1.410	1267	24,21%	16
90	2.243	1568	31,12%	17
100	3.374	1934	37,95%	19

Lo schema statico analizzato da Moon ha dimensioni e forma differenti da quello impiegato nell'edificio di riferimento, il 30 St. Mary Axe; tuttavia l'incremento dimensionale che le strutture di quest'ultimo subirebbero al variare dell'altezza del grattacielo secondo le teorie di Moon segue una progressione qualitativamente simile ai risultati della ricerca citata. In base ai dati ricavati da Moon, il peso dell'acciaio necessario a realizzare una struttura a *diagrid* è, per un edificio di 40 piani avente una base quadrata di 36 metri di lato, di 821 tonnellate. La quantità di materiale aumenta al crescere dell'altezza seguendo, come previsto, la linea del *premium for height*. Infatti, oltre al peso dei solai aggiuntivi, un edificio più alto dovrà resistere a carichi orizzontali maggiori dovuti all'incremento della superficie esposta al vento e all'allontanamento della risultante delle forze dal punto in grado di resistere al momento di ribaltamento (le fondazioni del grattacielo). Tramite una semplice proporzione è stato individuato l'incremento percentuale delle strutture ipotizzate da Moon. Prendendo come riferimento

Tab. 4.03 - L'embodied energy per piano, calcolata nell'ultima colonna della tabella, aumenta progressivamente a causa della massa delle strutture portanti necessarie. La determinazione del sistema strutturale più idoneo, relativamente ininfluente per gli edifici medio-bassi, ha invece un'importanza critica per i grattacieli più alti. (D.T.)



Img. 4.13 - La combinazione dei due effetti precedentemente descritti (la riduzione del rapporto di efficienza della progettazione e il premium for height) è alla base dell'altissima embodied energy dei grattacieli in rapporto alla superficie utile. (D.T.)

l'edificio di 40 piani e assegnando a questo un valore di 100, un edificio 10 piani più alto avrà un fabbisogno di materiali doppio (226%) mentre un edificio di 80 piani richiederà un quantitativo di acciaio 14 volte superiore. Questa progressione evidenzia la non linearità del rapporto tra l'altezza e il quantitativo di materiali strutturali necessari.

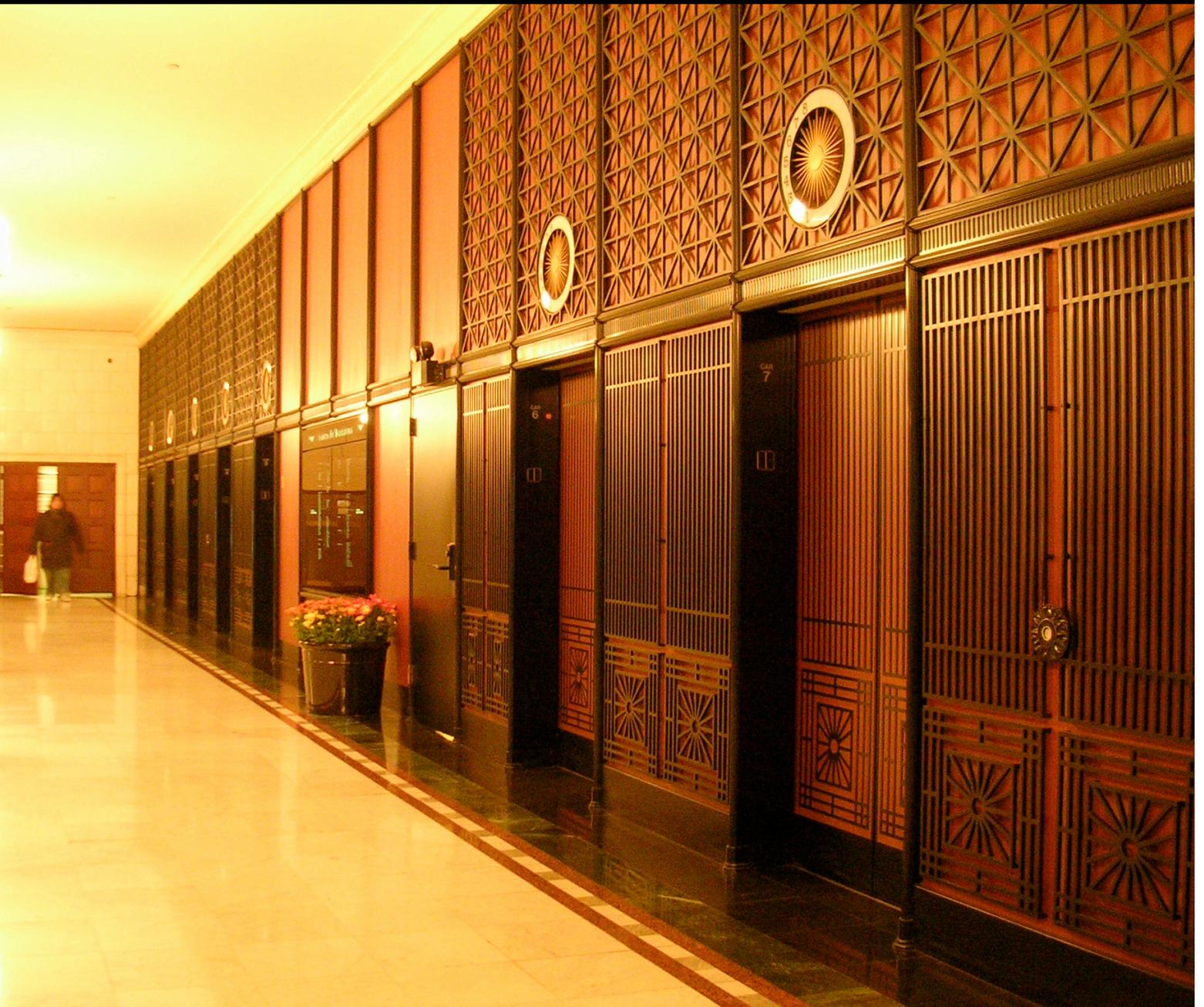
La stessa progressione è stata applicata al caso studio presentato, il 30 St. Mary Axe. Il peso della sola *diagrid* della torre di Foster (escludendo quindi gli elementi verticali centrali) è stato aumentato moltiplicandolo per il fattore di crescita individuato da Moon ed è stato quindi calcolato, per analogia, il valore totale dell'*embodied energy* di un edificio che condivide con il 30 St. Mary Axe, eccezione fatta per l'altezza, tutte le altre caratteristiche costruttive. È possibile notare come l'*embodied energy* della componente strutturale assuma un ruolo crescente all'aumentare dell'altezza dell'edificio, sia in termini assoluti che in termini percentuali. È quindi possibile attribuire a essa gran parte della variabilità dell'*embodied energy* di un grattacielo e in particolare, riconoscendo al *premium for height* la dovuta importanza, si può considerare la resistenza ai carichi orizzontali un fattore determinante per la quantificazione di questo parametro.

I calcoli effettuati, seppur affetti da successive approssimazioni che ne penalizzano parzialmente la validità quantitativa, possono però venire letti come un'analisi qualitativa dell'*embodied energy* di un grattacielo.

- 1 Mir M. Ali, Kyoung Sun Moon, "Structural developments in tall buildings: current trends and future prospects", *Architectural Science Review* volume 50, n° 3 (2007).
- 2 Mir M. Ali, Kyoung Sun Moon, op. cit.
- 3 Dominic Munro, "Swiss Re's Building, London", *Nyheter om Stalbyggnad*, n°3 (2004)
- 4 Mir M. Ali, Kyoung Sun Moon, op. cit.
- 5 Kyoung Sun Moon, "Material-Saving Design Strategies for Tall Building Structures", atti del convegno internazionale: *Tall&Green, CTBUH World Congress 2008, Dubai, UAE 2-5 Marzo 2008*, a cura di Wood A., (Chicago: CTBUH, 2008).



**Il service core:
definizione ed evoluzione
storica e funzionale**



La definizione di service core

Tante definizioni per descrivere le peculiarità del service core

La consultazione della letteratura e gli incontri effettuati con numerosi esperti di grattacieli, appartenenti sia al mondo professionale che accademico, ha evidenziato la mancanza di una definizione comune di *service core*.

Anche nella descrizione di questo elemento sono state riscontrate le medesime criticità che possono essere ritrovate nella sua progettazione, dettate dalla forte settorialità delle varie discipline e, di conseguenza, dei professionisti coinvolti. Ogni figura attribuisce al *service core* un ruolo fondamentale per il funzionamento del grattacielo, ma il giudizio è spesso limitato al proprio ambito professionale e sembra porre in secondo piano le problematiche ascrivibili alle altre discipline.

Un interessante modo di intendere il *service core* è la definizione data dal *developer*. Interessato a trarre il massimo profitto dall'investimento effettuato, egli definisce questo elemento come "tutto ciò che non può essere affittato". Questa definizione, che non entra nel merito tecnologico o costruttivo dell'elemento ma si limita a descriverne gli "effetti" economici sul valore dell'edificio, vede il *service core* come una sorta di contenitore all'interno del quale vengono collocati gli spazi non remunerativi della costruzione. Questa idea che si ha dell'elemento, definito come il rapporto tra due grandezze, è forse la causa della confusa percezione che molti architetti sembrano avere del *service core*: esso viene infatti percepito con una parte di risulta, uno spazio tecnico che, pur necessario, è lasciato ai "tecnici" del progetto, anche in virtù del suo ruolo esclusivamente servente e del fatto che, tradizionalmente posto al centro dell'edificio, risulta invisibile dall'esterno. Il *service core* svolge, tuttavia, un ruolo cruciale nella progettazione dell'edificio alto garantendone il funzionamento ma influenzandone anche, in modo più o meno evidente, numerosissimi altri aspetti fisici (quali la stabilità, la sicurezza o addirittura la forma stessa) o astratti (come il consumo di energia o il livello di soddisfazione degli utenti). Le funzioni del *service core* verranno descritte nello specifico nel successivo capitolo; tuttavia per poter delineare i suoi tratti generali è necessario fin da ora suddividerlo in tre macro-elementi:

! Core: è il nucleo solido e strutturale dell'edificio, che conferisce al service core l'immagine massiva a cui spesso viene associato. Il core è dunque il "nucleo duro" che spesso delimita il service core, realizzato generalmente tramite consistenti spessori di calcestruzzo o elementi di metallo assemblati e triangolati in grado di resistere a taglio e flessione. Il core, proprio per le

sue caratteristiche strutturali e per la presenza massiccia all'interno dello sviluppo in pianta dei piani dell'edificio, influenza, a volte, gli spazi architettonici e dei flussi di movimento. Il core, inoltre, rappresenta l'elemento di compartimentazione agli incendi all'interno dei singoli piani, separando le zone di normale attività dalle aree sicure di fuga o di rifugio.

! *Services*: sono gli elementi base presenti inevitabilmente in tutti i grattacieli e costituiscono gli apparati fondamentali per il funzionamento dell'edificio: ascensori, scale di sicurezza, condotte di ventilazione ecc. I services sono la parte "attiva" dell'edificio, il funzionamento dei quali è presupposto stesso per l'esistenza del grattacielo. Tra i services figurano anche alcuni ambienti non "verticali": i servizi igienici, i vani tecnici e i locali che accolgono le macchine di pompaggio dell'impianto di ventilazione, qualora questo sia distribuito ai vari piani. Questi elementi sono comunque ripetuti serialmente, nella stessa posizione, in tutti i piani dell'edificio o per lunghe porzioni dello stesso e sono anch'esse raccolte all'interno del core, quando presente.

! *Sub-services*: rappresentano gli spazi minori di servizio all'interno dei quali sono inseriti gli impianti necessari al funzionamento del grattacielo ma serventi nei confronti sia dell'edificio sia dei services. La loro forma e collocazione è spesso articolata in spazi di risulta, di piccole dimensioni e dalla forma irregolare.

Core o service core? La scelta del nome

All'oggetto di questa ricerca viene spesso attribuita una grande varietà di nomi, anche in questo caso a seconda dello specifico ambito di interessi di chi ne sta parlando: ci si riferisce infatti spesso al *service core* utilizzando termini quali "core", "central core", "lift core" ecc.. Ognuno di questi nomi fa riferimento a una o più componenti o caratteristiche del *service core* che, come conseguenza della prassi progettuale largamente diffusa, sono sotto certi punti di vista coincidenti nella grande maggioranza degli edifici.

Fatta questa necessaria puntualizzazione terminologica e individuati i macro elementi di cui è composto, è necessario motivare la scelta di chiamare l'insieme di questi elementi "service core" anziché semplicemente "core". Il core, ovvero il nocciolo, rappresenta la "parte dura" dell'edificio, sicuramente importante alla costruzione, ma sostanzialmente inerte e destinata a svolgere esclusivamente funzioni strutturali. Questo elemento, data la natura massiva dei materiali di cui è composto, risulta essere, in pianta, la parte più visibile dell'intero grattacielo. Esso però non è che un elemento statico all'interno del quale sono contenuti gli elementi attivi dell'edificio. Il *service core*, o meglio, i *services* di cui è costituito, sono il presupposto stesso dell'esistenza del grattacielo mentre la sua funzione strutturale può,

come spesso infatti accade, essere svolta da altri elementi della costruzione. Riferirsi al *service core* esclusivamente come *core* significa accentuarne eccessivamente il ruolo strutturale, “accessorio” delle più importanti funzioni svolte dai *services*: esistono degli edifici in cui il *core* non esiste, ma non vi possono essere grattacieli privi del *service core*.

Per questo motivo, l’oggetto dello studio della presente ricerca è il *service core*, inteso come unione e interazione di elementi serventi formati da *services*, *sub-services* ed, eventualmente, *core*.

La definizione proposta per “service core”

Come precedentemente sottolineato, non è possibile riscontrare una definizione univoca di *service core*. E’ utile pertanto proporre una definizione che consenta di inquadrare in maniera precisa l’elemento dell’analisi.

Il *service core* può pertanto venir definito come:

Un aggregato di spazi e unità tecnologiche necessarie al funzionamento di un grattacielo, organizzate in una sequenza verticale che si sviluppa su più piani, atta a conferire un elemento di continuità fisica, funzionale e visiva all’edificio.

A eccezione degli elementi puntuali della struttura (pilastri o tiranti) la definizione proposta comprende molti degli elementi chiave dell’oggetto di studio: in primo luogo, indica la presenza dell’elemento lungo tutto lo sviluppo verticale dell’edificio; in seguito, esplicita la funzione dell’elemento, ovvero quello di creare delle connessioni verticali che tengano unito e “facciano funzionare” il grattacielo; infine, presuppone la compresenza, o anzi l’intima unione, di spazi ed elementi tecnici che caratterizzano il *service core* come l’elemento tecnologicamente più denso dell’intero edificio.

Il *service core* è dunque un insieme costituito da elementi serventi rispetto agli spazi che ospitano la o le funzioni principali per le quali l’edificio è stato costruito (uffici, residenze, albergo ecc...). Al suo interno si distinguono poi spazi serventi primari (ascensori, servizi igienici, vie di fuga ecc...) e spazi serventi secondari (cavedi tecnici, sale macchine, ecc...), necessari al funzionamento degli elementi primari.



Gli spazi serviti e gli spazi serventi

Uno spazio servente dell'edificio

“Verso il 1880 all'ascensore viene abbinata la struttura portante metallica, in grado di sostenere i territori recentemente scoperti senza occuparne lo spazio. Attraverso il mutuo rafforzamento di queste due conquiste tecnologiche, ogni sito può ora essere moltiplicato all'infinito, dando luogo a quella proliferazione di superfici calpestabili chiamata Grattacielo”¹.

Rem Koolhaas descrive così il grattacielo, rendendo onore all'ascensore e alla struttura metallica come elementi fondamentali alla nascita della tipologia dell'edificio alto e come spina dorsale del grattacielo stesso. “La proliferazione di superfici calpestabili” rappresenta lo scopo della realizzazione del grattacielo, ma siano esse destinate a uffici, alberghi o residenze richiedono necessariamente la presenza della struttura puntiforme metallica e dell'ascensore quali elementi “serventi” nei confronti della destinazione d'uso primaria.

La progettazione di un grattacielo è fortemente condizionata dalle regole dell'economia e dal calcolo delle rendite derivanti dall'affitto delle superfici utili. Carol Willis² descrive minuziosamente il delicato meccanismo che condiziona l'intero processo edilizio della realizzazione di un grattacielo³, descrivendo i calcoli precisi che portavano alla determinazione dei parametri salienti del programma sulla base del quale, solo in un secondo momento, gli architetti erano chiamati a redigere il progetto. Oggi, esattamente come nel corso degli anni '30 quando i *developer* spingevano per ottenere il massimo dell'efficienza dalla progettazione in termini di utilizzo dello spazio, l'obiettivo è di massimizzare la superficie commercialmente utile dell'edificio, (NRA *Net Rentable Area*) rimanendo all'interno della volumetria massima realizzabile⁴. L'elevato livello di standardizzazione progettuale⁵ derivante da questa concezione del grattacielo, puramente improntata alla rendita economica, si è protratta nel tempo fino ai giorni nostri in cui ancora la maggioranza degli edifici alti viene costruita secondo uno schema funzionale diffusosi negli anni '60: la pianta tipo di un edificio è formata da un anello di uffici che si sviluppano per una profondità costante attorno a un nucleo centrale contenente gli spazi serventi (in primo luogo gli ascensori) indispensabili al funzionamento dell'edificio. Il nucleo dei servizi viene così organizzato in modo da limitare al massimo lo spazio occupato sottratto alla superficie utile. Il *service core* è pertanto, come si è visto, lo spazio risultante dalla sottrazione tra la superficie totale dell'edificio (GFA *Gross Floor Area*) e la superficie netta affittabile NRA. $Service\ Core = GFA - NRA$
Gli spazi serventi di cui il *service core* è costituito svolgono delle funzioni

variabili. Una particolarità del *service core* è che, in esso, gli spazi e il materiale utilizzato per delimitarli e suddividerli possono svolgere contemporaneamente due o più funzioni (come per esempio il vestibolo degli ascensori che si trasforma, in alcuni livelli, in spazio per i servizi igienici), a volte intercambiabili tra loro nel corso dello sviluppo verticale dell'edificio.

Il *service core*, rivestendo un ruolo quasi esclusivamente funzionale all'interno dell'edificio, è stato solo raramente oggetto di ricerca in termini di soluzioni progettuali innovative. Le principali innovazioni in esso introdotte, numerosissime, hanno invece sempre riguardato gli aspetti tecnologici e organizzativi delle varie funzioni da esso svolte e sono state caratterizzate da una lenta evoluzione piuttosto che da repentini cambiamenti. Osservando il *service core* di un edificio degli anni '30 e di un grattacielo degli anni '90 la permanenza delle principali funzioni svolte è riconoscibile in una sostanziale uniformità progettuale rispondente alla prassi della semplice addizione degli spazi tecnici necessari a ogni funzione.

Le funzioni tradizionalmente attribuite al *service core* sono:

- ! *Trasporto Verticale;*
- ! *Evacuazione;*
- ! *Struttura;*
- ! *Distribuzione impiantistica.*

Il trasporto verticale

L'ascensore è stato uno degli elementi chiave che hanno consentito la nascita e la diffusione dei grattacieli. Esso rappresenta tuttavia solo una tappa nell'evoluzione dei sistemi di trasporto verticale già in uso nell'antichità all'interno dei cantieri edili. Come è possibile rilevare dall'osservazione di numerose miniature e incisioni dei secoli scorsi, alcune ingegnose macchine per il sollevamento dei carichi erano adoperate nei cantieri delle grandi cattedrali gotiche e, via via tramite sistemi più complessi, anche nelle cattedrali rinascimentali. La caratteristica comune delle numerose tipologie di strumenti di sollevamento succedutisi nei secoli era costituita dal tipo di trazione: la forza necessaria al sollevamento dei carichi (e a vincere gli attriti e le resistenze degli ingranaggi generalmente in legno) era fornita dall'uomo o, per i carichi maggiori, dalla trazione animale. Nel 1853 venne realizzato il primo elevatore a trazione meccanica, mosso da una macchina a vapore.⁶ Questo macchinario, se da un lato risolveva il problema della trazione e moltiplicava il carico movimentabile e la velocità di sollevamento, poneva dall'altro nuovi problemi di sicurezza dovuti alla limitata resistenza delle funi, ora sollecitate da sforzi maggiori.

Fino alla fine del XIX secolo le esigenze di trasporto verticale dell'uomo erano sempre state piuttosto limitate, a eccezione delle torri di alcuni castelli, dei campanili e dei cantieri. L'edilizia tradizionale era formata da costruzioni di modeste altezze, generalmente inferiori ai 10-15 metri. Nei palazzi signorili rinascimentali, le uniche architetture residenziali a raggiungere comunemente un'altezza rilevante, il piano principale destinato alla nobiltà era generalmente posto al primo livello, a un'altezza cioè sufficiente per proteggere gli occupanti dai rumori e dagli odori della strada ma allo stesso tempo facilmente raggiungibile senza dover percorrere un eccessivo numero di scalini. I piani superiori, di più difficoltoso accesso, erano riservati agli alloggi dei domestici e della servitù. L'importante fattore di deprezzamento degli ambienti posti ai livelli più elevati è sottolineato da Louis Bergeron⁷ quando descrive la stratificazione sociale che aveva raggiunto Parigi dopo gli interventi Hausmanniani: oltre a una generale suddivisione della città in classi sociali, comune a tutte le altre città, Parigi aveva un secondo livello di suddivisione sociale, non più "a zone" ma "a strati". Le classi più ricche abitavano il primo e il secondo livello dei palazzi residenziali, la borghesia i livelli superiori e le classi più povere, quando non erano relegate addirittura nei locali interrati, occupavano i sottotetti e le mansarde poste al sesto, al settimo o addirittura all'ottavo piano. La limitazione economica di questo vincolo di utilizzo dei piani sopraelevati, diventava ancora più stringente nell'edilizia destinata al settore terziario, dove la vocazione commerciale degli edifici e l'importante ruolo per l'immagine di un'azienda ricoperto da un ufficio prestigioso, rendevano praticamente nulli i valori commerciali delle superfici poste oltre il 4° - 5° piano, limitando così l'altezza degli edifici. L'invenzione dei moderni ascensori e la loro diffusione sul mercato ha reso possibile il superamento del precedente limite di altezza degli edifici, ben prima dell'introduzione delle strutture metalliche, dando così il via all'era dei grattacieli. Gli edifici di New York e Chicago, pur conservando una struttura a muri portanti, iniziarono a elevarsi normalmente a 30-40 metri, fino ai 60 metri del Monadnock Building. La soglia dei 5 piani, che può essere considerato di fatto un vero e proprio limite fisiologico di accessibilità, venne dunque superata con l'introduzione degli ascensori che vennero frequentemente aggiunti anche negli edifici già esistenti.

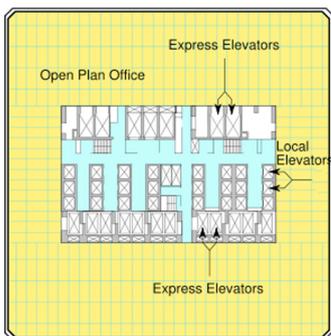
Al giorno d'oggi gli ascensori non sono presenti solo negli edifici di una certa altezza, ma nella quasi totalità dei fabbricati aventi più di un piano. La loro presenza, imposta dalle normative che riguardano l'accessibilità degli edifici anche alle persone con ridotte capacità motorie, rappresenta comunque un'esigenza anche dell'utenza generica. Il loro impiego si è diffuso a causa della modifica delle esigenze degli occupanti degli edifici e dall'abitudine al

loro uso: è infatti diventato comune utilizzare sistemi meccanici di elevazione anche per il superamento di dislivelli di pochi metri, come dimostrano numerose scale mobili presenti negli edifici commerciali. Le esigenze di comfort, anche in ragione dell'aumento della popolazione anziana o in sovrappeso, richiedono ora l'utilizzo dell'ascensore per qualsiasi spostamento interpiano.

L'ingegneria dei trasporti colloca gli ascensori all'interno della famiglia dei modi di trasporto a fune, anche se alcuni sistemi più semplici hanno un movimento oleodinamico diretto o mediato da un sistema a fune. Al di là delle distinzioni formali, gli ascensori sono un modo di trasporto alquanto anomalo che si differenzia da tutti gli altri. Innanzitutto, nonostante raramente si presti attenzione a questo fatto, gli ascensori sono a tutti gli effetti considerati un "mezzo" di trasporto alla stessa stregua della bicicletta, degli autobus o degli aerei. L'ascensore è inoltre un modo di trasporto collettivo a guida vincolata e sede propria che svolge un servizio a chiamata e può essere considerato, in base a queste caratteristiche, un sistema altamente innovativo e relativamente efficiente. L'efficienza di un ascensore è espressa anche dai consumi ridotti: un normale ascensore consuma 3 / 5 kW. Solo impianti di maggiore capacità e velocità arrivano a 40 kW (con un rendimento energetico superiore al 90%), meno di una piccola vettura utilitaria il cui motore sviluppa circa 50kW (con un rendimento energetico inferiore al 30%). Questi risultati sono resi possibili dalla presenza del contrappeso che bilancia il peso della cabina, consentendo al motore di effettuare uno sforzo pari alla sola movimentazione del carico effettivo e alla resistenza degli attriti.

L'ascensore può inoltre essere considerato il modo di trasporto più sicuro del mondo, presentando un tasso di mortalità sostanzialmente nullo e un tasso di incidentalità irrisorio se paragonato agli altri modi di trasporto. A titolo di esempio nel 2006 negli Stati Uniti si stima che gli ascensori abbiano compiuto 120 miliardi di corse senza causare morti e provocando 10.000 feriti, quasi tutti lievi. Questo risultato deriva dalle caratteristiche stesse dell'ascensore (guida vincolata, sede propria, automatizzazione) e dalle numerose normative che ne regolano il controllo della sicurezza nelle fasi di progettazione, installazione e uso.

I sistemi di ascensori scontano il prezzo di una caratteristica "curiosa" dei loro utenti, i quali si rivelano particolarmente esigenti nei confronti del servizio di trasporto. Un normale servizio di trasporto è infatti dimensionato supponendo una certa tolleranza da parte degli utenti in merito alle prestazioni offerte, in particolare durante gli orari di punta. Chiunque accetta senza eccessivi problemi qualche minuto di attesa per l'arrivo di una metropolitana, oppure quando si trova in coda a un semaforo o in fila



Img. 6.01 - Il sistema di trasporto verticale occupa gran parte dello spazio del service core. Gli ascensori, i vestiboli e le scale di emergenza arrivano a occupare, negli edifici più alti, fino al 25/35% della superficie totale realizzata.

all'impianto di risalita di un comprensorio sciistico. L'utente di un sistema di ascensori si attende invece un servizio istantaneo e inizia a dare segni di nervosismo dopo un'attesa di 20 / 30 secondi: un tempo di attesa di 40 / 50 secondi è giudicato inaccettabile in un edificio destinato a uffici.

Il soddisfacimento della domanda di trasporto verticale all'interno di un edificio è una questione complessa che va analizzata fin dalle fasi iniziali del progetto. A differenza di quanto avviene in altri modi di trasporto, infatti, è estremamente difficile adattare a nuove esigenze il servizio offerto da un sistema di ascensori una volta che questo è stato installato all'interno del fabbricato. A tal fine, per evitare dannosi sottodimensionamenti o costosi e inutili sovradimensionamenti, è necessario valutare correttamente le esigenze dell'utenza. L'analisi della domanda del servizio di trasporto è dunque una tappa fondamentale nella progettazione di un edificio alto. Purtroppo è difficile conoscere preventivamente il reale numero di utenti che saranno presenti nell'edificio e ancora più difficile è prevedere le modalità di utilizzazione dello stesso, poiché questo parametro dipende in gran parte da scelte e abitudini individuali variabili nel tempo. La previsione della domanda viene quindi effettuata secondo metodi analitici dettati dall'esperienza e dal buon senso. Questi sistemi di calcolo, pur fornendo risultati sostanzialmente concordi tra loro, non sono però in grado di garantire un risultato oggettivamente valido.

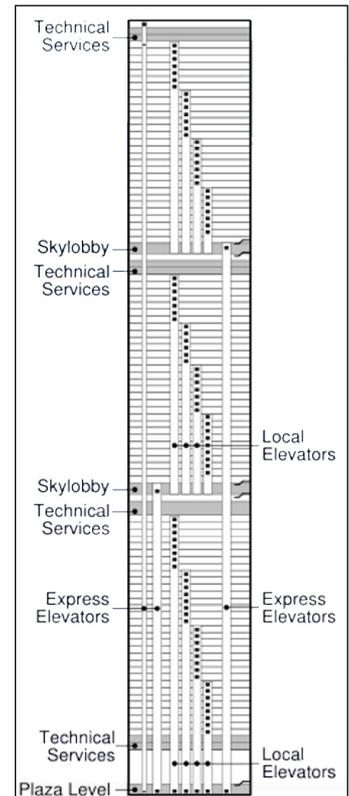
Il problema fondamentale consiste nel valutare il numero di persone realisticamente presenti nell'edificio, l'aspettativa che hanno dal servizio e gli eventuali momenti di punta della domanda. Infatti, nonostante ogni utilizzatore si comporti come un soggetto autonomo, è comunque possibile individuare dei comportamenti comuni "medi" che assumono una distribuzione gaussiana intorno a momenti del giorno stabiliti, variabili a seconda della tipologia di utenza.

L'importanza del corretto dimensionamento del numero di ascensori, che influenza in maniera rilevante il giudizio degli utenti sulla qualità globale dell'edificio, è un elemento chiave nella progettazione dei grattacieli.

"Il requisito fondamentale per il successo di un edificio alto è il suo servizio di comunicazione verticale, si spera che il seguente scritto sui fattori fondamentali che entrano nella soluzione di un tal problema, sia utile a tutti i membri della professione di architetto"⁸, così esordiva un articolo di Architectural Forum del 1915.

Evacuazione

L'edificio alto è fortemente penalizzato dal punto di vista della propagazione degli incendi e della protezione dei suoi occupanti rispetto ad altre tipologie



Img. 6.02 - Il sistema di trasporto verticale di un edificio viene schematizzato tramite dei diagrammi che rappresentano i vani di corsa dei vari bank di ascensori. Nel diagramma in alto, le linee bianche che attraversano verticalmente l'edificio, in questo caso l'ex World Trade Center di New York, rappresentano i vani di corsa dei gruppi di ascensori. Gli ascensori effettuano il servizio di fermata in corrispondenza dei piani marcati da un puntino scuro; nei livelli attraversati dalla linea bianca invece, l'ascensore effettua un servizio espresso. Le fasce grigie indicano le sky lobby, ovvero i piani raggiungibili tramite ascensori shuttle (Express Elevators). Dalle sky lobby i passeggeri procedono verso la loro destinazione finale utilizzando gli ascensori locali.

edilizie. Il grattacielo ha infatti una sola direzione di fuga, verso il basso, e questo fa sì che gli occupanti dei piani superiori a quello di un eventuale incendio siano costretti a fuggire nella direzione del pericolo, anziché nella direzione opposta come l'istinto e la ragionevolezza consiglierebbero di fare. Le fiamme e il fumo tendono, inoltre, a propagarsi verso l'alto sospinti dai moti convettivi d'aria, portando quindi il pericolo nella direzione delle eventuali persone intrappolate.

Il ruolo del *service core* è dunque quello di creare un ambiente chiuso e protetto in grado di attraversare il piano o i piani interessati dall'incendio e di permettere la fuga alle persone; in contemporanea, deve essere in grado di garantire il mantenimento delle funzioni strutturali e dei principali sistemi di comunicazione impiantistica.

Il problema degli incendi viene affrontato fin dalla nascita dell'edificio alto sia attraverso studi teorici, sia attraverso invenzioni e proposte progettuali più o meno efficaci. Osservando la planimetria dei primi edifici alti risulta evidente il minor livello di progettazione degli interni, riscontrabile in una minore organizzazione delle funzioni di collegamenti verticali. Le scale interne risultano prive di compartimentazione e, tranne rari esempi, non erano nemmeno inserite all'interno di un vano scala delimitato da murature piene. Il problema dell'evacuazione veniva affrontato tramite l'installazione, all'esterno dell'edificio, di un sistema di scale metalliche di evacuazione nonostante il generale scetticismo nei confronti della reale efficacia di questa soluzione. Queste, tuttora visibili in molti vecchi edifici statunitensi, svolgevano però più una funzione psicologica che un reale sistema di evacuazione, sia per la difficoltà di essere utilizzate in maniera sicura, sia per la limitata capacità di evacuare un numero adeguato di persone. La sicurezza degli occupanti era spesso affidata più a opere di mitigazione e di rapida estinzione dell'incendio che a veri e propri sistemi di evacuazione. Uno dei primi esempi di scala chiaramente pensata nell'ottica di evacuare l'edificio è la scala interna del Wollworth Building, inserita all'interno di un vano chiuso delimitato da porte.

Indipendentemente dai progressi fatti, le criticità connesse all'evacuazione di un edificio alto possono essere tuttora individuate nei seguenti fattori:

! La difficoltà fisica, anche per chi gode di buone condizioni di salute, di scendere un elevato dislivello utilizzando le scale. Anche per un fisico allenato, scendere 25-30 piani di scale di corsa significa giungere alla base dell'edificio essendo in grado di compiere esclusivamente dei movimenti meccanici, e trovandosi in difficoltà a rispondere ad altre esigenze di mobilità (correre, saltare)⁹;

! La concentrazione di utenti raggiunta all'interno del vano scale in caso di evacuazione dell'edificio riduce notevolmente il flusso di persone fino a

raggiungere la congestione del sistema;

! La difficoltà di evacuare disabili, anziani ed eventuali feriti;

Il problema principale da superare dipende dalla limitata capacità della scala di evacuazione in rapporto al grande numero di persone da smaltire. E' infatti dimostrato che quando la densità di persone all'interno di un vano scala raggiunge 3,8 pers/m² la capacità di deflusso decresce rapidamente fino a una situazione di "stop and go" in cui il flusso subisce continui arresti e ripartenze (simile a quanto avviene in autostrada in condizioni di traffico molto intenso). Per evitare una simile situazione, potenzialmente catastrofica dato che di fatto riduce la portata a zero, si è sviluppato un sistema di evacuazione "per fasi" in cui si tende a mettere in sicurezza le persone in funzione del grado di pericolo a cui sono esposte. In caso d'incendio verranno prima fatti evacuare gli occupanti del piano interessato dall'incendio, quelli del piano sottostante (pericolo di crollo del solaio) e dei due piani soprastanti (propagazione di fumo e di calore). Successivamente si faranno evacuare i piani superiori e poi quelli inferiori con tempistiche commisurate alla pericolosità dell'evento e alla capacità delle vie di fuga.

Sebbene la necessità di immediata evacuazione di un edificio sia piuttosto remota, esistono però delle casistiche di generale pericolo dovute principalmente ad atti terroristici o a fenomeni esterni all'edificio (terremoto, incendi a strutture adiacenti, ecc.) che rappresentano i casi limite di utilizzo, e quindi di progettazione, dei sistemi di fuga.

Nonostante il sistema di evacuazione per fasi sia ritenuto efficace e sicuro dagli esperti del settore, a seguito della tragedia delle Torri Gemelle si è però verificato un cambiamento nell'atteggiamento degli utenti di un edificio interessato da un ordine di evacuazione. La paura di un eventuale crollo crea negli occupanti una sensazione di panico che li rende impazienti nell'attendere il corretto svolgimento dell'evacuazione per fasi e li spinge a dirigersi immediatamente verso le scale di emergenza, rallentando di fatto lo svuotamento del grattacielo.

L'evacuazione di edifici di grosse dimensioni ha spesso richiesto tempi chiaramente eccessivi durante una effettiva emergenza. Nel 1993, in seguito all'esplosione di una bomba nel parcheggio di una delle due torri del World Trade Center, alcuni degli occupanti impiegarono più di 4 ore per abbandonare l'edificio¹⁰.

L'utilizzo delle sole scale di evacuazione, fino a pochi anni fa imposto per ragioni di sicurezza, è da sempre oggetto di dibattito e la possibilità di utilizzare gli ascensori anche nei casi di emergenza è studiata da tempo.

Esistono vari problemi che, almeno in passato, hanno sconsigliato l'utilizzo degli ascensori nelle situazioni di pericolo legate a un incendio o a un terremoto. Le principali cause che possono portare al malfunzionamento

degli ascensori sono dovute, in caso di terremoto, alla deformazione delle guide di corsa o al malfunzionamento degli apparati meccanici mentre, in caso di incendio, la possibilità di un *black out* elettrico o la presenza di fumo e fiamme all'interno del vano di corsa costituiscono i pericoli maggiori. Inoltre, anche constatando il corretto funzionamento degli ascensori in seguito all'evento, il rischio di un successivo malfunzionamento rimane elevato a causa di una serie di elementi che possono incorrere durante le fasi successive a un'emergenza:

! cortocircuito degli automatismi di controllo dovuto alla presenza di acqua proveniente dai sistemi di spegnimento o alla fusione dei cavi;

! surriscaldamento del locale motore o delle parti meccaniche;

! possibile apertura incontrollata delle porte di piano anche in assenza della cabina dell'ascensore.

L'altezza sempre più elevata degli edifici ha però reso necessario il superamento di questo problema grazie alla progettazione di ascensori idonei al funzionamento anche durante le condizioni di emergenza. Tramite l'utilizzo (almeno parziale) degli ascensori è possibile ridurre notevolmente il tempo di evacuazione di un grattacielo. Per poter essere idonei all'utilizzo durante le condizioni di emergenza gli ascensori devono essere in grado di far fronte alle possibili cause di malfunzionamento elencate, tramite l'utilizzo di generatori elettrici autonomi di emergenza, l'adeguata protezione dei cavi e l'utilizzo di sistemi elettronici resistenti all'acqua.

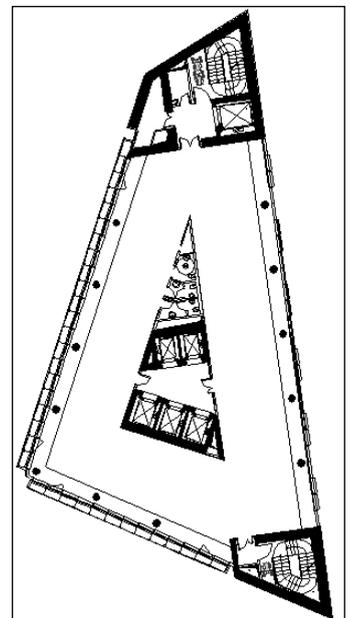
La possibilità di utilizzare simultaneamente entrambi i sistemi di evacuazione permette a chi è incaricato di gestire le emergenze di operare, a seconda della tipologia di edificio e dell'evento pericoloso, in modo da favorire la fuga dall'edificio delle persone maggiormente esposte al pericolo. Solitamente gli ascensori vengono utilizzati per evacuare le persone poste ai piani più alti per le quali è maggiore la distanza di fuga da percorrere e, di conseguenza, l'esposizione agli eventuali pericoli. L'uso combinato di scale e ascensori risulta ottimale quando l'ultimo occupante evacuato tramite le scale e l'ultima persona messa in salvo tramite gli ascensori escono allo stesso momento dall'edificio, provando il corretto bilanciamento delle due modalità di evacuazione¹¹.

Gli attacchi terroristici dell'11 settembre 2001 hanno però messo in evidenza la criticità complessiva del sistema di evacuazione degli edifici alti. La quasi totalità delle vittime degli attentati era infatti intrappolata al di sopra del punto di impatto degli aerei che si sono abbattuti sulle Torri. Il *service core* dei due edifici è infatti stato danneggiato dall'urto e dalla conseguente esplosione dei due aerei. Il sistema di evacuazione è in questo modo stato interrotto completamente impedendo la fuga degli occupanti. Questo fatto è

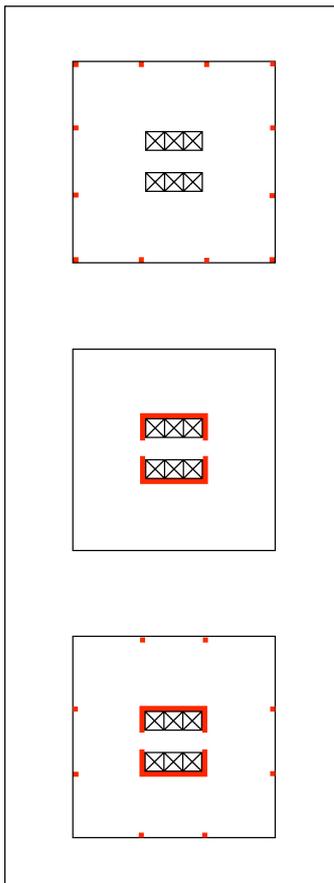
stato causata dalla modalità di costruzione del *core* delle due torri. Realizzate interamente in acciaio, esse avevano infatti un *core* costituito da una struttura metallica rivestita con elementi in gesso in grado di compartimentare le scale e di garantire l'adeguata protezione al fuoco delle parti strutturali. Tale soluzione tecnologica, progettata per resistere a un normale evento di incendio, non è stata in grado di resistere all'esplosione verificatasi e ha di conseguenza esposto le scale di emergenza e i vani degli ascensori all'ingresso del fuoco e del fumo, interrompendo tutte le vie di fuga possibili e intrappolando gli occupanti dell'edificio posti al di sopra del punto di impatto. Se il *core* dell'edificio fosse stato realizzato in cemento armato, come è oramai prassi diffusa anche negli Stati Uniti, lo spessore strutturale degli elementi portanti sarebbe stato probabilmente in grado di resistere, almeno in parte, alla violenza dell'esplosione. Questo incidente ha sottolineato un problema di fondo: l'unicità della via di fuga che, se resa inutilizzabile dall'evento, preclude la possibilità di evacuazione dell'intera porzione di edificio soprastante. La comprensione delle cause della tragedia ha prodotto due tipi di conseguenze: un più largo utilizzo del calcestruzzo nella realizzazione del *core* degli edifici alti costruiti in seguito (motivato anche, o forse soprattutto, da questioni economiche) e la diffusione, almeno momentanea, di una tendenza progettuale volta a moltiplicare le possibili vie di uscita degli edifici alti: gli *skybridge*, ovvero dei "ponti" sopraelevati che consentono di mettere in comunicazione due edifici vicini. Analizzando infatti le risposte del concorso internazionale indetto per la ricostruzione delle torri¹² del WTC, numerose soluzioni presentano una serie di edifici collegati tra loro tramite degli *skybridge*. Grazie al loro utilizzo, anticipato in tempi recenti nelle Petronas Towers, è possibile mettere più edifici in comunicazione tra loro in quota in modo da creare delle alternative ai sistemi di evacuazione di ogni singolo grattacielo. La creazione degli *skybridge* pone però un notevole numero di problemi di ordine strutturale e gestionale dei grattacieli ed è attuabile, di fatto, solo nel caso di edifici costruiti in contemporanea e appartenenti a uno stesso committente. Una soluzione più praticabile è invece data dalla duplicazione del *service core* all'interno dello stesso edificio, in modo da creare, in due aree diametralmente opposte rispetto al centro geometrico, la possibilità di una via di fuga. Tale soluzione, anche se forse non sarebbe stata sufficiente nel caso di un evento tanto grave quanto quello delle Torri Gemelle, può però rappresentare un'alternativa più facilmente percorribile per incrementare la sicurezza passiva dei grattacieli. Il doppio *service core* è già da tempo utilizzato in numerosi edifici, anche se con intenti non esplicitamente legati all'evacuazione degli occupanti.



Img. 6.03 - Il core in calcestruzzo, che funge da elemento di controventamento alle strutture metalliche costituisce al giorno d'oggi la tipologia strutturale più diffusa, grazie alle minori oscillazioni economiche del costo del calcestruzzo rispetto all'acciaio. Questa soluzione offre anche un elevato grado di sicurezza in caso di incendi o atti terroristici, proteggendo le vie di fuga con uno spesso strato di cemento armato.



Img. 6.04 - La Torre Unipol, in corso di costruzione a Bologna, avrà un triplice *service core*: i due perimetrali saranno destinati ad accogliere le vie di fuga, mentre il *service core* centrale fornisce all'edificio gli altri servizi. È interessante notare, nel *service core* centrale, che parte dei *services* (i servizi igienici) sono esterni al *core* strutturale.



Img. 6.04 - Possono essere individuati tre "famiglie" strutturali per gli edifici alti, catalogate in base alla posizione dell'elemento che è in grado di resistere alle forze orizzontali che agiscono sull'edificio: strutture esterne (elemento agente lungo il perimetro del grattacielo), strutture interne (core strutturale) e ibride.

Struttura

La diffusione degli edifici alti, iniziata sul finire del XIX Secolo, conobbe un boom nel primo trentennio del secolo successivo quando a Chicago, ma soprattutto a New York, si innescò una vera e propria gara per la conquista del titolo di "grattacielo più alto del mondo". La considerevole altezza di 30 piani raggiunta dal Park Row Building nel 1899 fu solo l'inizio di una continua corsa verso l'alto che culminò, nel 1930, con la costruzione dei 102 piani dell'Empire State Building. A differenza di quanto si possa immaginare, questa enorme differenza di altezza non produsse una sostanziale evoluzione delle tecnologie costruttive, soprattutto dal punto di vista strutturale: la quasi totalità dei grattacieli del periodo era infatti costruita con una maglia metallica rigida, denominata *rigid frame*. Le altezze raggiunte, più che da un raffinato calcolo strutturale, erano in quel periodo possibili grazie a un abbondante sovradimensionamento degli elementi portanti e all'abbondanza dei materiali utilizzati.

Come si è visto nei capitoli precedenti, nel corso degli anni '60¹³, vennero ideati nuovi schemi strutturali che sostituirono completamente la tradizionale *rigid frame*. Khan, il principale autore di queste ricerche, riconobbe per primo il fenomeno del "*premium for height*", ovvero il progressivo aumento di importanza, al crescere dell'altezza dell'edificio, delle strutture necessarie a resistere ai carichi orizzontali rispetto a quelle necessarie per sostenere i carichi verticali. Grazie a questa intuizione egli riuscì a dimostrare l'inefficienza strutturale dei sistemi *rigid frame* e propose dei diversi schemi statici in grado di sfruttare al meglio le caratteristiche dei materiali anche grazie alle maggiori possibilità di calcolo rese possibili dai primi computer. Khan elaborò dei diagrammi suddividendo le tipologie strutturali in base ai materiali di realizzazione, ordinandoli in maniera crescente in base all'altezza massima di efficienza.

Per comprendere i legami esistenti tra le varie tipologie strutturali e il *service core* di un edificio alto è però opportuno utilizzare un altro tipo di suddivisione¹⁴, secondo la quale gli edifici sono catalogati in funzione del posizionamento delle strutture deputate a contrastare le sollecitazioni orizzontali a cui un grattacielo è sottoposto. Gli schemi strutturali possono così venir catalogati come:

! *sistemi esterni*: gli elementi di resistenza alle forze orizzontali sono poste lungo il perimetro dell'edificio o addirittura al suo esterno;

! *sistemi interni*: il sistema di controventamento è posto all'interno dell'edificio, lontano dalle chiusure perimetrali;

! *sistemi ibridi*: sia il core dell'edificio sia le strutture perimetrali agiscono in

maniera sinergica per contrastare le forze orizzontali.

In base a questa distinzione è possibile individuare gli edifici dotati di *core*, quindi di un elemento finalizzato ad assolvere alle funzioni strutturali, e quelli in cui il *service core* non svolge funzioni strutturali. E' comunque importante sottolineare come la divisione tra il sistema interno e quello esterno, pur essendo abbastanza netta, non sia però assoluta. Esiste sempre, infatti, una certa rigidità dell'intero sistema che contribuisce a far funzionare l'edificio come un unico elemento strutturale.

Lo schema statico di base di un grattacielo è, per quanto riguarda i carichi orizzontali, schematizzabile in una trave a mensola vincolata al terreno. Il vento e i sismi agiscono come forze che creano sia uno sforzo di taglio sia un momento che tende a ribaltare l'edificio. La differenza tra i sistemi esterni e quelli interni è costituito dallo "spessore" agente della mensola, ovvero se questo è costituito dall'intera larghezza dell'edificio o se è invece molto più esile e corrisponde alle sole dimensioni del *core*.

I sistemi esterni sono generalmente riconoscibili per la presenza di grossi elementi strutturali diagonali posti in corrispondenza della facciata, anche se esistono configurazioni esterne che raggiungono la loro rigidità solo tramite l'elevato numero di incastri rigidi come per esempio il sistema a tubo. Nonostante l'acciaio sia il materiale maggiormente utilizzato per queste tipologie strutturali anche il cemento armato è stato adottato in numerosi edifici realizzati, soprattutto nelle varie tipologie di strutture a tubo e, solo più recentemente a telaio e *core*.

I sistemi esterni principali sono costituiti da:

! *Sistema a tubo, a sua volta suddiviso in tubo rigido (De Witt-Chestnut Apartment Building), tubo controventato (John Hancock Center), fascio di tubi (Sears Tower) e diagrid (Hearst Tower);*

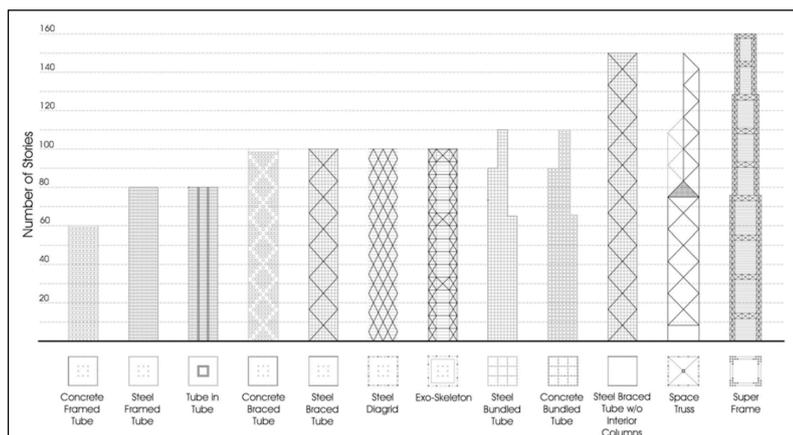
! *Strutture spaziali (Bank of China);*

! *Superframes (proposta per il Chicago World Trade Center).*

Questi tipi di struttura occupano il perimetro dell'edificio e liberano dunque il *service core* da funzioni portanti, fatto salvo per l'eventuale presenza di elementi verticali puntuali per il sostegno dei carichi dovuti alla forza di gravità.

I sistemi interni sono invece caratterizzati da una minore visibilità degli elementi strutturali in facciata, essendo la parte portante posta in prossimità del perimetro dell'edificio incaricata di sorreggere i soli carichi verticali; per questa ragione tali sistemi strutturali hanno conosciuto una grandissima fortuna poiché lasciano la facciata libera all'espressione architettonica dei

Img. 6.06 - Schemi strutturali esterni e ibridi, suddivisi in base alla loro altezza massima di efficienza.



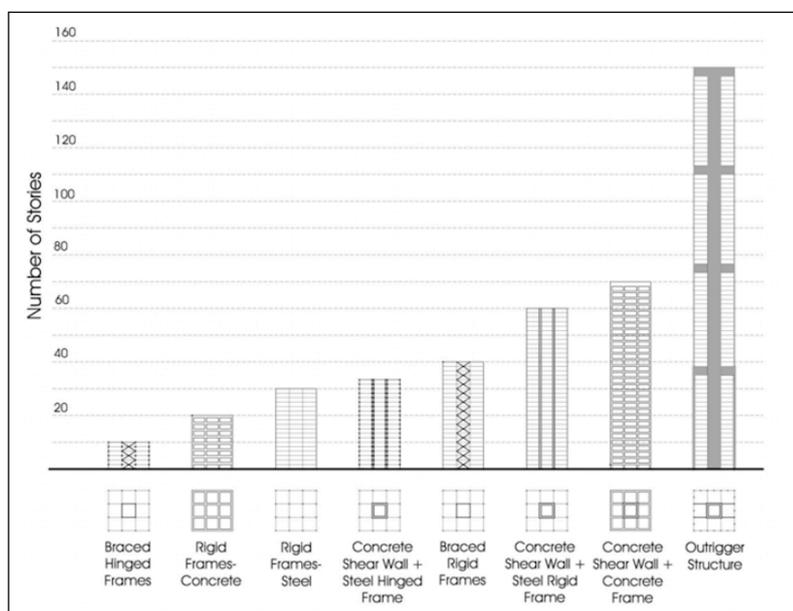
progettisti.

Gli schemi strutturali interni prevedono quindi la presenza di un *core*, ovvero di una struttura avente generalmente una forma scatolare e funzione portante con dimensioni sufficienti a contrastare le spinte orizzontali. All'interno del *core* vengono solitamente organizzati i *services* e i *sub services* dell'edificio; è probabilmente a causa della diffusione dello schema strutturale interno, rispetto a quello esterno, che i termini *core* e *service core* vengono spesso confusi e scambiati.

Il *core* può essere costituito da varie tipologie di sistemi strutturali:

! strutture resistenti al momento flettente: sono caratterizzate da grossi telai metallici i cui elementi sono rigidamente connessi tra di loro; queste strutture resistono ai carichi prevalentemente grazie alla rigidezza flessionale degli elementi di cui sono costituite. Nonostante le strutture resistenti a momento possano essere collocate sia all'interno dell'edificio che lungo il suo perimetro risultano, nella grande maggioranza dei casi, costruite attorno al nucleo dei trasporti verticali e costituiscono dunque il core del grattacielo.

! telai controventati (braced frames): sono costituiti da telai dotati di diagonali di controventamento i cui elementi obliqui sono disposti a forma di



Img. 6.07 - Sistemi strutturali interni, suddivisi in base alla loro altezza massima di efficienza. Il sistema con outrigger, pur essendo catalogato tra i sistemi ibridi, è più vicino alla configurazione centrale, dato il ruolo fondamentale svolto dal core.

K, V o X rispetto ai portali principali. Queste strutture resistono ai carichi orizzontali prevalentemente grazie alla resistenza assiale degli elementi di cui sono formati, il che le rende più efficienti rispetto a quelle a telaio rigido.

! murature resistenti a taglio (shear walls): sono costituiti da setti in calcestruzzo armato che funzionano come mensole incastrate al terreno. Nel caso due o più elementi complanari siano interconnessi tra loro al livello di tutti i solai la resistenza totale del sistema è superiore alla somma delle resistenze dei singoli elementi poiché le travi di connessione costringono i vari elementi a funzionare come un unico setto.

La tipologia di *core* largamente più utilizzata oggi è rappresentata dal sistema *shear wall* in cemento armato. Grazie a questo sistema è possibile realizzare edifici di media altezza (30 - 70 piani) con relativa semplicità e garantendo un'elevata rigidità della costruzione, ideale per resistere alle sollecitazioni del vento. I *core* metallici sono invece maggiormente indicati nelle aree sismiche, grazie alla maggiore elasticità degli elementi di cui sono costituiti. I *core* in cemento armato sono inoltre più sicuri dal punto di vista della resistenza a esplosioni o azioni meccaniche di altro tipo, che potrebbero invece danneggiare le strutture in metallo (protette per resistere al solo calore prodotto da un incendio ma non ad azioni meccaniche).

Esistono inoltre alcune tipologie di strutture miste, in cui cioè è riscontrabile sia la presenza sia di un *core*, sia di una struttura perimetrale che collabora con esso:

! core-supported outrigger: è la tipologia strutturale maggiormente utilizzata per gli edifici di grande altezza: dal core (generalmente in calcestruzzo) partono uno o più telai che lo mettono in collegamento con le strutture verticali perimetrali. Il principio di funzionamento è quello degli alberi delle navi che, nonostante siano estremamente snelli, resistono alle sollecitazioni orizzontali grazie ai tiranti a cui sono ancorati. Le sollecitazioni del core possono essere trasmesse solo ad alcuni elementi perimetrali o equamente distribuite tramite delle "cinture" (belt trusses) che collegano orizzontalmente tutti i pilastri in corrispondenza delle travi outrigger, evitando così allungamenti differenziali dei vari elementi;

! tube in tube: questa tipologia strutturale è costituita da un sistema a tubo collegato al core, realizzato anch'esso come un tubo. L'esempio più famoso di tube in tube era rappresentato dalle Torri Gemelle del WTC.

L'affidamento al *service core* di funzioni strutturali di controventamento è dunque una condizione fondamentale per la presenza del *core*. Il caso più anomalo è costituito dalle torri realizzate a sbalzo a partire da un *core*

centrale, che svolge così la totalità delle funzioni portanti sia rispetto ai carichi orizzontali che verticali. Un esempio di questo tipo è la Tower 42 di Londra, che verrà descritta in seguito.

Distribuzione impiantistica

L'immagine a cui spesso si fa riferimento per descrivere il *service core* è la spina dorsale di un essere umano, fondamentale per il mantenimento della postura eretta e per la distribuzione nervosa tramite il midollo spinale. Il *service core* svolge un ruolo analogo nel grattacielo: la sua funzione di distribuzione impiantistica è fondamentale per permettere alle reti di servizi solitamente interrati di raggiungere capillarmente tutte le parti dell'edificio.

Il concetto dell'assoluta continuità geometrica e della verticalità dei suoi elementi è fondamentale per il funzionamento di alcune reti di servizi in esso contenute, quali la distribuzione dell'acqua e la raccolta dei tubi di scarico dei servizi igienici. Altre reti (elettriche, telefoniche, dati) sono invece meno influenzate dalla geometria che assumono ma, anche in funzione della limitata dimensione degli elementi di cui sono costituite, tendono a essere accorpate ad altre reti meno flessibili.

Il minor valore delle zone centrali dell'edificio, non illuminate dalla luce naturale proveniente dall'esterno, e la presenza di un elemento di continuità verticale costituito dagli ascensori hanno fatto sì che, in questa posizione, si radunassero anche una serie di ambienti necessari alla fruizione e al funzionamento dell'edificio. I primi elementi funzionalmente incolonnati in modo verticale furono i servizi igienici e le camere di combustione delle caldaie per il riscaldamento, a causa della necessaria continuità verticale delle loro reti di servizio. L'elemento che però rafforzò lo stimolo alla seriale e razionale organizzazione dello spazio fu la suddivisione dei trasporti verticali di un edificio in batterie (*bank*) di ascensori. La presenza di ascensori "espressi", ovvero di gruppi di ascensori destinati ai piani più alti che attraversano con i loro vani di corsa i livelli inferiori, creò il presupposto per la nascita del moderno *service core*: la necessità di sfruttare al meglio la presenza di spazi "di risulta" derivanti dallo schema organizzativo degli ascensori. Nel corso degli anni '30 e '40 si raffinarono le tecniche di condizionamento che, dal Dopoguerra in poi, entrarono a far parte della dotazione impiantistica "imprescindibile" per un grattacielo. La diffusione del curtain wall sigillato provocò infatti l'introduzione di un nuovo importante elemento del *service core*: il sistema di distribuzione della ventilazione forzata. Gli impianti di distribuzione d'aria a volume costante, utilizzati soprattutto negli anni '60 rendevano necessari grandi cavedi tecnici verticali per distribuire ai singoli piani l'aria climatizzata proveniente dalle centrali di

trattamento.

- 1 Rem Koolhaas, *Delirious New York : a retroactive manifesto for Manhattan*, (Londra: Thames & Hudson, 1978).
- 2 Carol Willis, *Form Follows Finance*, (New York: Princeton Architectural Press, 1995).
- 3 Carol Willis, *Building the Empire State*, (New York: Norton & Company, 2007).
- 4 W. C. Clark , J. L. Kingston, *The skyscraper: a study in the economic height of modern office building*, (Cleveland: American Inst. of Steel Construction, 1930).
- 5 William Gompert , "Planning office buildings for maximum returns", *Record and guide*, n° 126, (1930).
- 6 Raffaella Lione, *Ascensori e altri impianti di sollevamento*, (Roma: Carocci Editore, 1998).
- 7 Louis Bergeron, *Parigi, Il mito di una capitale*, (Torino: Einaudi, 1993).
- 8 Cecil Baker, Editoriale, *Architectural Forum*, Volume 15, n° 6, (1915)
- 9 A.T. North, "Tall Building Egress", *Architectural Forum*, Volume 52, n° 2 (1930).
- 10 Mohd Zahiden Bin Jafaar, *Design for Egress in Tall Building*, (Technology University of Malaysia: 2006, Internal Report).
- 11 AA.VV., *Emergency evacuation elevator systems guideline*, (Chicago: CTBUH, 2004)
- 12 Antony Wood, Philip Oldfield, "Bridging the gap: An analysis of proposed evacuation links at height in the World Trade Centre design competition entries", presentato al convegno internazionale: *CTBUH 7th World Congress: Renewing the Urban Landscape, New York, 16th-19th October 2005*.
- 13 Fazlur Khan, "Recent structural systems in steel for high-rise buildings", atti del convegno internazionale: *the British Constructional Steelwork Association Conference on Steel in Architecture, London S.W.1, 24th to 26th November, 1969*. A cura di: British Constructional Steelwork Association, 55-65, (London: British Constructional Steelwork Association, 1969).
- 14 Mir M. Ali, Kyoung Sun Moon, "Structural developments in tall buildings: current trends and future prospects", *Architectural Science Review* volume 50, n° 3 (2007).



L'evoluzione storica del service core

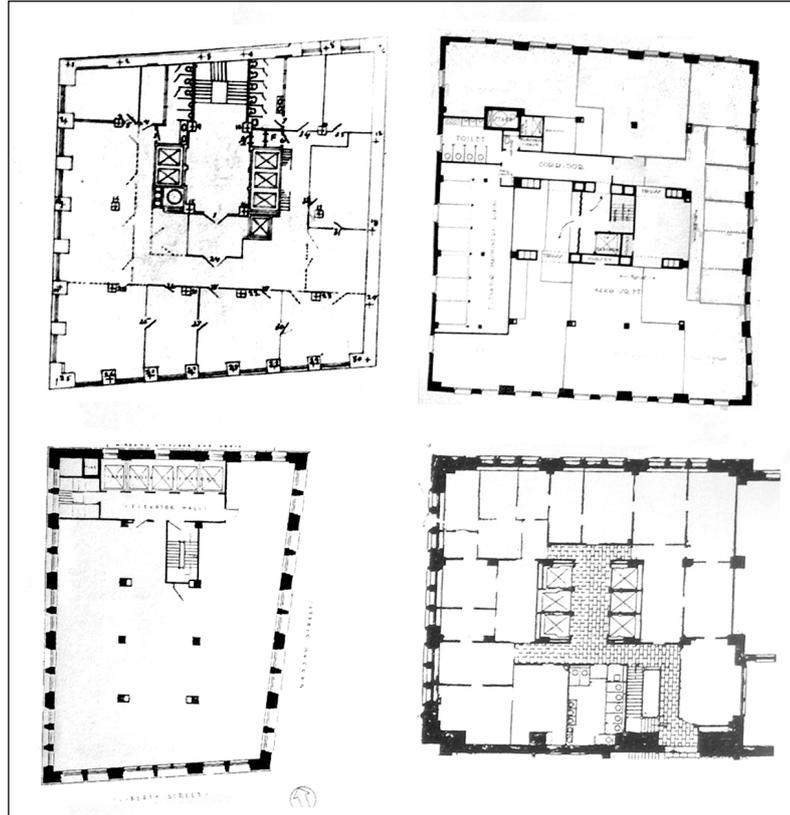
Storia di due città

I primi edifici che superarono la soglia dei 6 piani iniziarono ben presto a definire nuovi standard di progettazione che modificavano in parte la tradizione architettonica costituita nei secoli precedenti. Tranne che in alcuni casi particolari riscontrabili soprattutto a Chicago, la parte principale dell'edificio non era più occupata dalla scala d'onore come nei palazzi che si rifacevano allo stile rinascimentale, ma dal sistema di trasporto verticale che si basava sul recente sviluppo commerciale dell'ascensore.

Per comprendere l'evoluzione del *service core* è necessario risalire agli albori di questa tipologia edilizia, che mosse i primi passi in due città americane: New York e Chicago. Sebbene non sia possibile stabilire dove il grattacielo sia effettivamente nato, va però sottolineato come l'evoluzione iniziale di questa tipologia portò alla distinzione di due schemi organizzativi completamente diversi legati alle specificità storiche e urbanistiche delle due città.

“Dal 1892, quando venne approvato l'utilizzo della struttura metallica all'interno del codice edilizio di New York, gli edifici per uffici iniziarono regolarmente a superare i 16 piani o più”¹. I primi edifici alti di Manhattan venivano costruiti in sostituzione di precedenti fabbricati e insistevano quindi su una superficie di dimensioni contenute: il lotto tipico era infatti costituito da una fascia di terreno piuttosto stretta (generalmente 20/30 metri di fronte strada) e abbastanza lunga che si estendeva per tutta la profondità dei classici isolati in cui era suddivisa Manhattan (60/70 metri). Tale configurazione rispecchiava la dimensione massima generalmente disponibile ma non erano infrequenti esempi di lotti più piccoli, corrispondenti a circa la metà della profondità dell'isolato. Su tali lotti venivano costruiti edifici di 15/20 piani, all'inizio esclusivamente adibiti a uffici e realizzati a scopo speculativo. Le esigenze di movimentazione verticale venivano soddisfatte tramite un sistema di ascensori coadiuvato dalla presenza di una scala di servizio. La forma dei lotti si traduceva in due diverse tipologie organizzative del sistema di circolazione interna: gli edifici costruiti sui lotti di forma quadrata venivano serviti tramite un sistema di 4/6 ascensori disposti generalmente in posizione centrale. Su quest'area centrale di comunicazione si affacciavano gli uffici. Tale configurazione, che ebbe una notevole fortuna a Manhattan, rappresentava la migliore risposta alle possibili scelte di organizzazione degli spazi interni: il corto corridoio centrale, largo circa 2,5 metri, era infatti affiancato dagli ascensori, che occupavano una fascia di ulteriori 2,5 metri su ogni lato. Dal corridoio si

Img. 7.01 - Le piante di alcuni edifici di forma quadrata costruiti a Manhattan: American Surety Building (1986), Bankers Trust Company Building (1912), Liberty Tower (1910), Metropolitan Life insurance Tower (1909). Nelle piante si nota il posizionamento centrale degli ascensori, circondato da un anello di uffici perimetrali interrotto solo dal blocco contenente i servizi igienici, affacciati sul prospetto meno importante.



accedeva direttamente agli uffici, disposti attorno al nucleo centrale per una profondità massima di 8/9 metri, corrispondente alla profondità ottimale oltre la quale la luce naturale, proveniente dalle finestre, risultava troppo debole per consentire lo svolgimento delle attività di lavoro. La somma degli spazi, calibrati su un "optimum" costruttivo e funzionale, dava una larghezza totale di circa 25 metri corrispondente al fronte tipico dei lotti di Manhattan. Tale configurazione veniva replicata anche in profondità: gli uffici più ambiti, erano affacciati sul fronte principale perché, godendo di una migliore illuminazione fornita dalla larghezza della strada prospiciente, potevano svilupparsi per una maggiore profondità all'interno del blocco edilizio.

La disposizione variava notevolmente negli edifici che occupavano un intero lotto "passante": la maggiore profondità imponeva, in questa configurazione planimetrica, un corridoio di distribuzione lungo il quale venivano ordinati, su un lato, gli ascensori organizzati in una fila che poteva contare fino a 12/14 cabine; anche in questo caso la disposizione centrale consentiva un ottimale sfruttamento della fascia perimetrale del fabbricato garantendo un'adeguata illuminazione naturale all'interno delle unità lavorative. Il posizionamento centrale del nucleo di comunicazione verticale rappresentava la norma, ma non la regola: esistevano difatti alcune condizioni che potevano suggerire una diversa organizzazione degli ascensori e delle scale. La principale motivazione per giustificare una posizione periferica era l'eventualità che l'edificio potesse venir affiancato in aderenza, per l'intera altezza, da un'altra struttura. Questa situazione poteva sussistere qualora il lotto adiacente

fosse divenuto oggetto della costruzione di un altro grattacielo oppure qualora si fosse presentata la possibilità di espandere l'edificio. In tal caso il sistema di comunicazione verticale si sarebbe trovato, dopo l'unione dei due fabbricati, nuovamente in posizione centrale.

Gli altri spazi necessari alla fruibilità e al funzionamento dell'edificio alto erano prevalentemente rappresentati dai servizi igienici, spesso riuniti in blocchi anche se esistono numerosi esempi di uffici dotati di bagni singoli. La loro collocazione era variabile: spesso posizionati in posizione periferica, per poter beneficiare dell'aerazione naturale, occupavano comunque la zona meno pregiata dell'edificio.

Il problema degli incendi, che divenne fin da subito oggetto di grande attenzione, portò alla ricerca delle soluzioni più idonee per l'evacuazione degli occupanti, resa difficile dallo sviluppo verticale dell'edificio. Nell'evenienza di evacuazione gli occupanti potevano utilizzare la scala di servizio presente all'interno dell'edificio. Tuttavia, poiché questa non era compartimentata e si affacciava direttamente nella hall del piano terreno, in caso di incendio si trasformava in un camino di aspirazione per il fumo e il fuoco: in alternativa l'evacuazione poteva pertanto essere effettuata tramite una scala metallica esterna, collocata usualmente su una delle facciate secondarie. Tali scale, tuttora presenti in moltissimi edifici, rappresentavano spesso l'unica via di salvezza in caso di necessità, nonostante fosse già nota l'opinione negativa di molti esperti secondo i quali "la scala di evacuazione esterna è generalmente considerata inutile come via di fuga anche nel caso di edifici mediamente alti"².

Negli stessi anni, l'esperienza progettuale vissuta a Chicago diede esiti completamente diversi. La griglia su cui era organizzata la città era costituita da ampi blocchi edilizi di forma quasi quadrata, di circa 100 per 120 metri. Tale condizione, legata alle vicissitudini della città (tra cui il grande incendio del 1871), rendeva possibile l'esistenza di grandi lotti edificabili, spesso corrispondenti a un intero quarto di isolato, sui quali potevano essere realizzati edifici di imponenti dimensioni denominati, per l'appunto, *quarter block*. Essi occupavano una superficie di base di circa 50 x 50 metri ed erano limitati in altezza da una regolamentazione molto più ferrea rispetto a quella Newyorchese, orientata invece al più completo *laissez-faire*. Nel corso dei primi decenni del 1900 si alternarono a Chicago diversi regolamenti edilizi che fissavano un'altezza massima per gli edifici sempre oscillante tra 45 e 90 metri. Questo limite portava alla realizzazione di fabbricati massicci, in alcuni casi perfettamente cubici, che dovevano sfruttare al massimo le opportunità edificatorie rimanendo all'interno della sagoma consentita. E' importante considerare che, dati i limiti delle tecniche

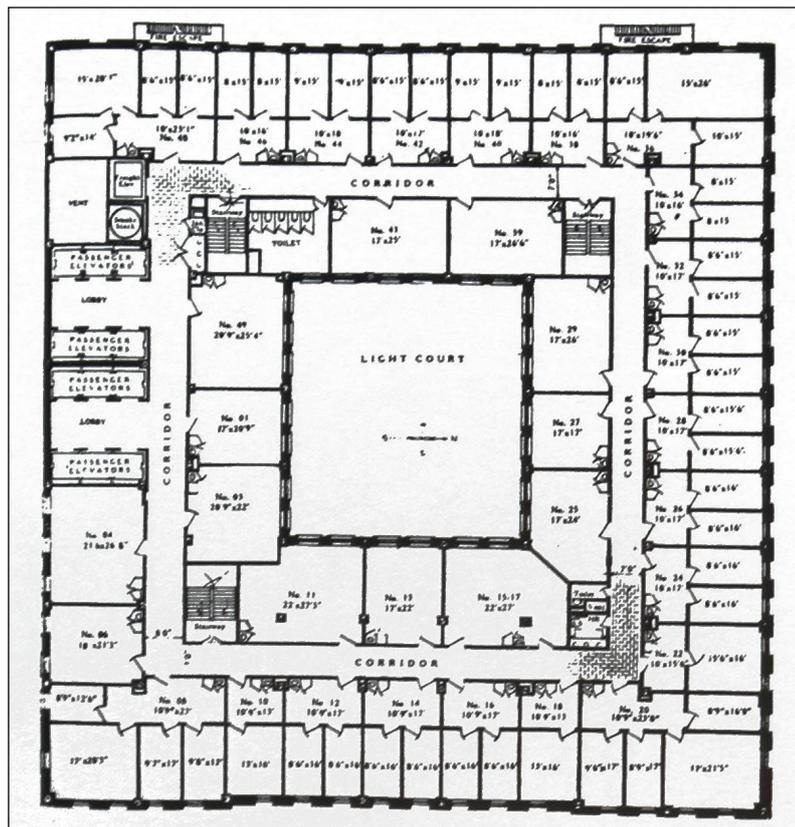


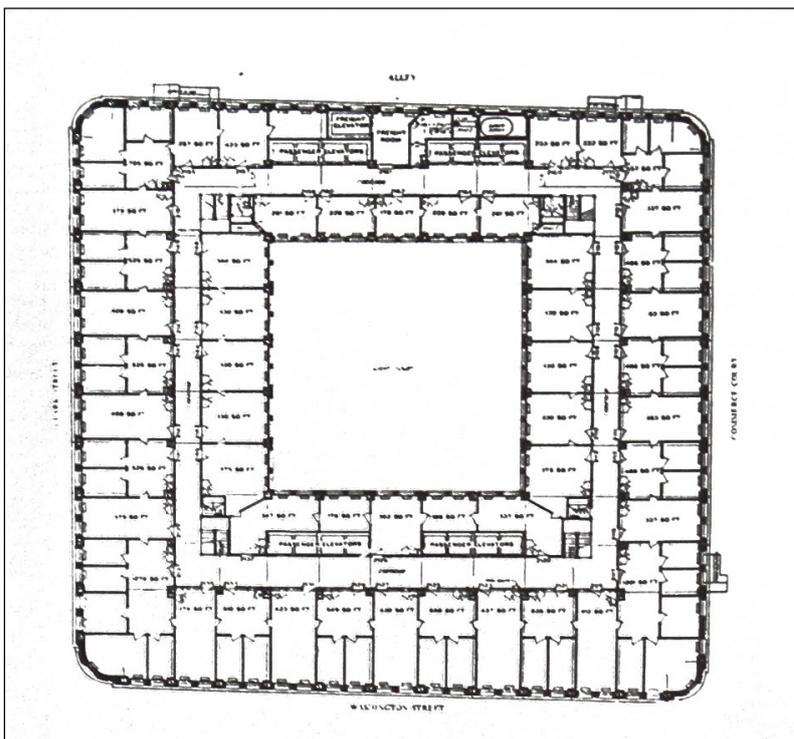
Img. 7.02 - Il service core del 500 Fifth Avenue Building (1931) risulta decentrato rispetto al baricentro dell'edificio. La torre che si eleva dal massiccio basamento, essendo piuttosto snella, avrebbe risentito negativamente di una disposizione centrale del service core a causa del difficile utilizzo degli spazi marginali.

di illuminazione artificiale dell'epoca, la principale fonte di luce era rappresentata da quella naturale, proveniente dalle finestrate. La costruzione degli spazi per uffici, a dimostrazione della valenza economica-speculativa dei grattacieli, era codificata in modo preciso: "L'ideale per un ufficio è 18 x 25 piedi. Le finestre devono essere studiate cosicché si possa suddividere la larghezza di 18 piedi dell'ufficio in due parti per creare due uffici più piccoli, ognuno con una finestra. Nel retro di questi, a una profondità di circa 15 piedi, bisogna offrire la possibilità di una piccola anticamera"³. La soluzione più efficace per creare il maggior numero di uffici di dimensioni "ideali" nei massicci *quarter block* era quella di scavare all'interno del blocco edilizio un cavedio di illuminazione e di organizzare gli uffici in due cerchi concentrici: i più prestigiosi con affaccio sulla strada pubblica principale, i meno pregiati rivolti all'interno del pozzo di luce centrale. Tale distribuzione spaziale liberava però il cuore dell'edificio da qualsiasi funzione distributiva e di comunicazione verticale. La collocazione dei sistemi di trasporto verticale doveva essere dunque individuata in una posizione periferica: le batterie di ascensori erano quindi allineate lungo un'unica fila, solitamente addossata a un muro perimetrale. La scelta di utilizzare un muro perimetrale (anziché una delle pareti del cavedio interno, meno remunerative) era legata all'esistenza, o al timore di futura esistenza, di un edificio attiguo. La disposizione in pianta dell'edificio faceva sì che alcuni uffici fossero posti a una notevole distanza dal corpo ascensori: per agevolare le comunicazioni interpiano (più che le fasi di evacuazione)



Img. 7.03 & 7.04 - Lo Straus Building, fu il primo edificio ad adottare una sky lobby per poter raggiungere i piani della piccola torre senza occupare un'eccessiva porzione della superficie disponibile ai livelli inferiori. Questa soluzione divenne molto comune a partire dagli anni '60





venivano in alcuni casi previste, agli angoli dei corridoi, delle scale di servizio; il sistema di comunicazione verticale era così ripartito tra gli ascensori e le scale. Nel 1915 il Conway Building di Chicago presentava, nonostante un'altezza di 21 piani, un sistema di comunicazioni verticali decisamente "generoso": un doppio sistema di ascensori (2 batterie da 4 ascensori ripetuti ai due lati opposti dell'edificio per un totale di 16 cabine) e 4 scale interne, una per ogni angolo del corridoio, oltre a 3 scale esterne antincendio. Nonostante alcuni edifici disponessero di un bagno in ogni ufficio (almeno nelle unità più prestigiose) i servizi igienici erano generalmente riuniti in un unico blocco, posto in prossimità degli ascensori. Il sistema organizzativo descritto, seppur variamente declinato e fatte salve alcune importanti eccezioni, rimase in voga a Chicago fino alla fine degli anni venti.

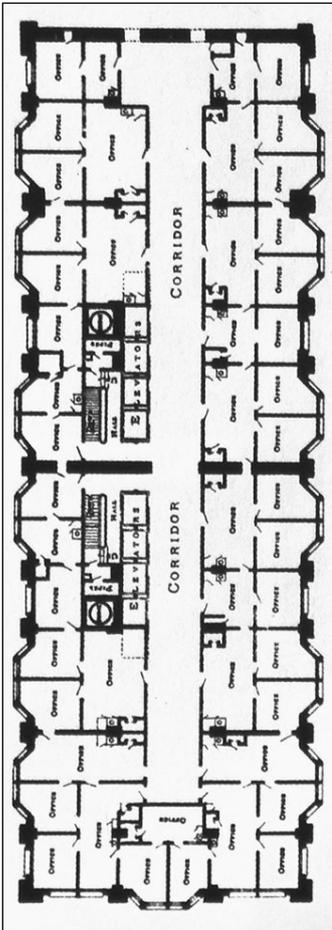
Primi esempi di service core

Negli esempi illustrati in precedenza sono stati descritti i sistemi di comunicazione verticali e i *services* dei primi grattacieli, individuando due schemi progettuali contemporanei che erano espressione delle peculiarità architettoniche degli edifici alti di Manhattan e di Chicago. Non è stato mai utilizzato, volutamente, il termine *service core*. Il *service core* è stato infatti definito, nei capitoli precedenti, come "un aggregato di spazi e unità tecnologiche necessarie al funzionamento di un grattacielo, organizzate in una sequenza verticale che si sviluppa su più piani, atta a conferire un elemento di continuità fisica, funzionale e visiva all'edificio". Negli edifici del

Img. 7.05 & 7.06 - Il Conway Building di Chicago (1915) rappresenta un tipico esempio di edificio quarter block. Il sistema di ascensori è duplicato; è evidente l'ampio cavedio di illuminazione centrale.



Img. 7.07 - Il cavedio interno del Conway Building, ora riadattato, è rivestito in piastrelle bianche smaltate per riflettere al meglio la luce proveniente dall'alto. L'edificio ospita attualmente, tra gli altri, la sede di Chicago di SOM.

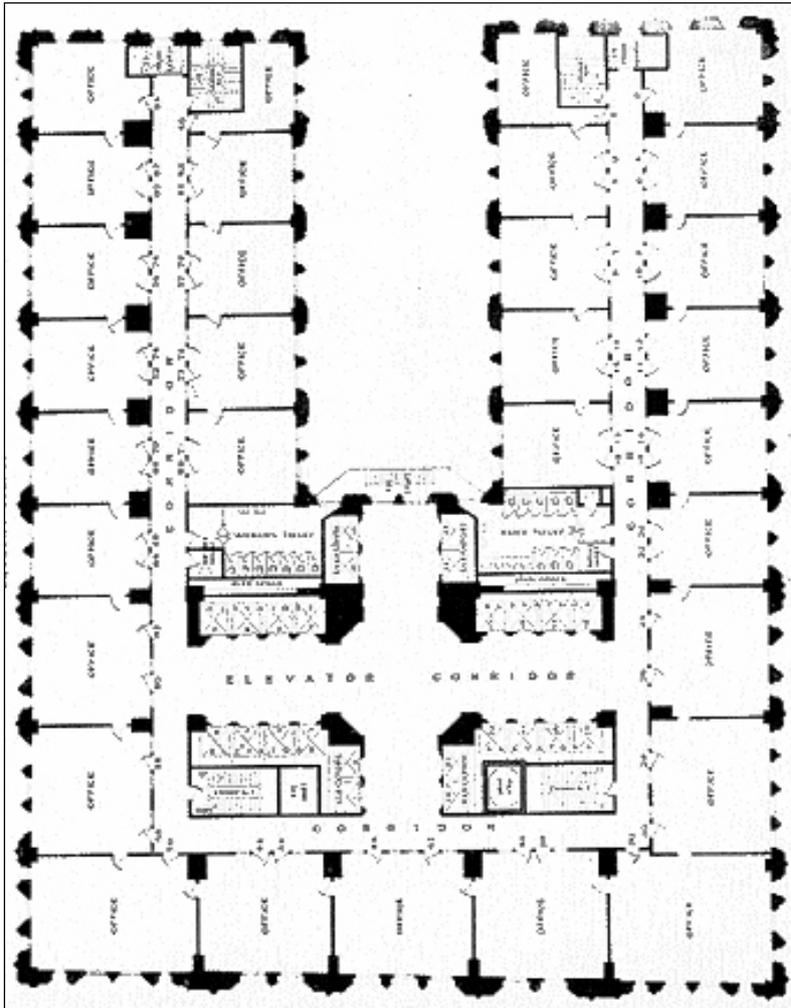


Img. 7.08 - Il Monadnock Addition Building di Chicago ha, nella sua porzione Nord, una struttura portante in muratura piena che raggiunge, alla base, lo spessore di 2 metri. È possibile notare il nucleo di servizi compatto e organizzato che rappresenta probabilmente il primo antesignano dei moderni service core.

periodo fin qui analizzato è assente la fondamentale caratteristica della “compattezza”, dell’aggregazione cioè degli spazi e delle unità tecnologiche. Esistono tuttavia almeno tre esempi emblematici di *service core ante litteram*: il Monadnock Building a Chicago, il Woolworth Building e l’Equitable Building a New York. I tre esempi citati sono, forse non a caso, edifici molto importanti: tutti e tre furono, al momento della loro costruzione, detentori del titolo di “edificio per uffici più grande del mondo” inteso non tanto in termini di altezza (solo il Woolworth detenne anche questo record), ma in termini di superficie commerciale. I due fatti (il primato in grandezza e la presenza di un *service core* innovativo) possono essere letti come una singolare coincidenza ma sono più probabilmente legati da uno stretto rapporto consequenziale: per fornire un servizio adeguato ed efficace al grande numero di utenti, il sistema di trasporto verticale e le altre dotazioni tecnologiche e funzionali dell’edificio dovevano essere ottimizzati, descrivendo lo stato dell’arte della tecnologia del momento.

Nonostante i suoi 16 piani, Il Monadnock Building può essere considerato un “non-grattacielo” in quanto la porzione settentrionale dell’edificio non utilizza la struttura puntiforme caratteristica degli edifici alti. Infatti la scelta del costruttore di non utilizzare una struttura metallica (allora ai primissimi stadi di sviluppo), ma di affidarsi invece a una tradizionale muratura piena in laterizio, fece sì che le pareti portanti di cui è composto l’edificio siano spesse, alla base, oltre 2 metri. L’ala sud, realizzata solo un paio di anni più tardi a seguito dell’enorme successo commerciale della prima porzione di edificio, è invece parzialmente realizzata con una struttura metallica moderna. Il lato sud, denominato Monadnock Addition Building, ha un doppio *service core* collocato in posizione centrale. I due nuclei verticali, pur essendo in prossimità l’uno dell’altro, sono di fatto separati funzionalmente e visivamente da uno spesso setto murario avente sia funzioni strutturali che di barriera taglia fuoco. Gli ascensori (4+4) si aprono direttamente sul generoso corridoio longitudinale di distribuzione. In posizione arretrata, dietro gli ascensori, una scala di servizio collega i vari piani dell’edificio e consente l’accesso, tramite il pianerottolo intermedio, ai cavedi verticali che alloggiavano alcuni *sub-services* dell’edificio: tubature, cavi elettrici e cavedi di caduta per la posta (che veniva raccolta direttamente nella Hall dal servizio postale). La compattezza, che produce una razionale organizzazione delle varie funzioni, è la caratteristica che permette di considerare il sistema organizzativo del Monadnock Addition, il primo predecessore dei moderni *service core*.

Il Woolworth Building venne realizzato nel 1913 con il dichiarato intento di stupire i newyorkesi grazie alla sua formidabile altezza⁴. Per poter servire gli

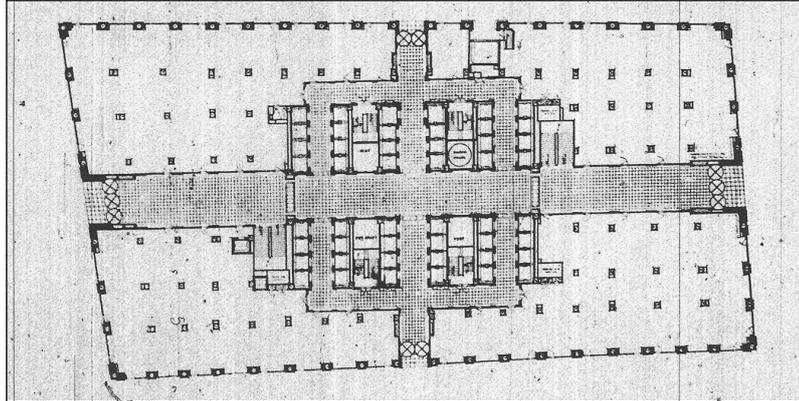


spazi costruiti all'interno della torre che sventa a partire dal basamento a "U", venne realizzato un sistema di trasporto verticale e di servizi estremamente compatto, collocato in posizione strategica rispetto alla Hall di ingresso. Il sistema, inscrivibile in un quadrato, è costituito da 24 ascensori, disposti secondo una pianta a croce greca. Nelle porzioni rimanenti del quadrato di base sono collocati i servizi igienici, le due scale di servizio e i cavedi tecnici. Un aspetto interessante è rappresentato dalla "compartimentazione" delle scale. A differenza della prassi comune dell'epoca esse sono infatti collocate all'interno di un vano chiuso, accessibile tramite una porta apribile nella direzione di fuga. Nonostante l'ingenuità di alcuni dettagli (la porta che si apre ostacola il deflusso, l'assenza di una doppia porta per impedire l'effetto camino e l'ingresso dei fumi ecc...) tale sistema rappresenta sicuramente un'innovazione rilevante nei confronti della sicurezza. La necessità di sviluppare degli adeguati sistemi di prevenzione degli incendi era motivata da una duplice questione: l'incolumità degli utenti e, considerate le dimensioni dell'edificio e l'importanza economica del manufatto, la preoccupazione di limitare il più possibile i danni provocati dal fuoco. Il sistema di ascensori è ripartito in maniera funzionale in modo da servire al meglio l'edificio: la torre è raggiungibile tramite ascensori

Img. 7.09 & 7.10 - Il Woolworth Building, soprannominato la "cattedrale della finanza" ha un sky lobby organizzato su una pianta a croce greca. I trasporti verticali sono organizzati secondo un sistema a due gruppi, per velocizzare l'accesso ai piani più alti. Le scale di fuga, rinchiusi all'interno di un muro di "compartimentazione", sono separate da delle porte che si aprono nella direzione di fuga.



Img. 7.11 - L'Equitable Building venne costruito tenendo in grande considerazione il sistema di trasporti verticali. Memori delle cattive prestazioni offerte ai suoi utenti dal vicino Woolworth Building, i committenti pretesero un grattacielo che rappresentasse lo stato dell'arte dell'ascensoristica dell'epoca.



“espressi” che non effettuano fermate per i primi 27 piani dell'edificio, connettendo direttamente la hall con i livelli superiori. Questo sistema, già utilizzato in altri edifici precedenti, mette in evidenza le sue peculiari caratteristiche nel Woolworth building: gli ascensori espressi permettono un notevole risparmio di tempo agli utenti dei livelli superiori eliminando le soste ai livelli intermedi, serviti invece da un altro gruppo di cabine. Nonostante l'utilizzo di due gruppi di ascensori, il servizio di trasporto non era soddisfacente al punto che l'edificio, a causa della cattiva fama all'interno del mercato immobiliare di New York, risultava fortemente penalizzato in termini di redditività.

Il terzo esempio interessante da citare è l'Equitable Building di New York. L'edificio si sviluppa per 36 piani occupando per intero la superficie del lotto. Al momento della costruzione l'edificio era frequentato da una media di 50.000 persone al giorno. Per gestire un tale volume di traffico il sistema di ascensori fu oggetto di lunghi studi preliminari e una volta completato costituì un esempio di riferimento della pratica professionale, sia per l'evoluto sistema tecnologico che per il sistema organizzativo adottato. I 48 ascensori (il doppio di quelli presenti all'interno del Woolworth, più piccolo di superficie ma molto più alto) vennero organizzati in *bank* di 8 cabine ciascuno, disposte queste in file di 4. Il sistema è interessante, oltre che per la dimensione, anche per l'efficace uso dello spazio (servizi igienici e rispostigli collocati in corrispondenza dei vestiboli degli ascensori ove questi non servono), per l'utilizzo intelligente del sistema di ascensori locali-espressi e per l'organizzazione dei cavedi e degli spazi di risulta. La tecnologia avanzata degli ascensori (erano stati progettati appositamente per fornire prestazioni all'avanguardia) faceva sì che ogni cabina avesse una capacità di 300 persone su un arco di tempo di soli 15 minuti.

Le torri di Manhattan

Nel 1916, dopo lunghe discussioni⁵, New York approvava la *Zoning Law*, il primo strumento urbanistico a controllo del tumultuoso sviluppo di

Manhattan. Contrariamente all'opinione diffusa, questa norma non era motivata, o almeno non solo, da intenti filantropico – ambientali. Spesso infatti viene citato l'Equitable Building come la ragione unica dell'approvazione di una normativa che impedisse ai nuovi grattacieli di togliere luce e aria pulita alle strade circostanti: sebbene questo fosse infatti l'effetto prodotto, e sebbene l'Equitable sia stato probabilmente la “goccia che fece traboccare il vaso”, le motivazioni che stanno dietro a tale normativa sono di carattere meramente economico - speculativo e vanno ricercate nell'azione di una *lobby* situata alcuni chilometri a nord dell'Equitable Building: l'Associazione dei Commercianti della Fifth Avenue. La Zoning Law era infatti stata concepita per “stabilizzare e conservare i valori immobiliari, per alleviare la crescente congestione stradale e dei trasporti pubblici, per fornire una maggiore sicurezza agli edifici e nelle strade, e in generale per fare la città più bella e gradevole.”⁶

Per capire le ragioni di una regolamentazione che imponesse un'altezza massima agli edifici è necessario comprendere le ragioni della sua precedente non-esistenza: è infatti importante notare come fino alla fine del 1800 non vi fosse ragione di creare una legge in tal senso per il semplice motivo che l'altezza era già, di fatto, limitata dalle conoscenze tecniche e strutturali dell'epoca. Fino ai primi anni del nuovo secolo gli edifici alti erano talmente rari che non costituivano un elemento di preoccupazione: solo dal 1905 -1910 con la comparsa di sempre più numerosi e alti grattacieli, si iniziò a porre il quesito di come regolamentarne la costruzione. Le ragioni e le classi di potere che portarono all'approvazione della *Zoning Law* rappresentavano interessi prevalentemente economici: l'Associazione dei Commercianti della Fifth Avenue, una zona già allora di grande pregio, vedeva i valori delle proprietà minacciati dall'invasione delle “orde di operai”⁷ che lavoravano nelle adiacenti aree produttive recentemente spostatesi a nord dopo l'incremento dei valori immobiliari della zona sud di Manhattan. Furono quindi i commercianti a pretendere per primi la limitazione dell'altezza degli edifici e l'introduzione di zone a diversa destinazione d'uso al fine di non vedere diminuire il valore degli immobili e delle attività della Fifth Avenue. Inoltre gli stessi imprenditori immobiliari, prima restii all'introduzione di limitazioni alla dimensione degli edifici, cambiarono rapidamente idea quando notarono che il valore di un investimento veniva regolarmente compromesso dalla costruzione di un nuovo grattacielo nelle immediate vicinanze. Tale istinto di autodifesa, unito alla considerazione che l'eccessiva vicinanza e altezza degli edifici potesse costituire un serio pericolo in caso di incendio, fece crollare l'ultima e più forte opposizione alla fine del *laissez-faire* che aveva caratterizzato fino ad allora la storia dell'architettura di Manhattan.

La *Zoning Law* adottata nel 1916, oltre a definire la destinazione d'uso delle diverse aree, imponeva anche l'altezza massima del fronte strada degli edifici, determinata in base alla larghezza della strada sulla quale si affacciavano moltiplicata per dei coefficienti caratteristici delle macro-aree in cui era suddivisa la città⁸. Superata tale altezza veniva definito un sistema di arretramenti del prospetto (*setback*) determinati da un angolo definito, anch'esso, in base alle zone di edificazione. Tale sistema, che come l'architetto Hugh Ferriss rappresentò nei suoi celeberrimi disegni a carboncino, limitava di fatto la forma e il volume dell'edificio lasciando però un margine di libertà: su una superficie pari al 25% della dimensione del lotto, nessun limite ostacolava la costruzione, consentendo così l'edificazione di una torre alta potenzialmente all'infinito. Questo sistema normativo, che venne superato solo nel corso degli anni '60, portò alla definizione dello stile così detto a "*wedding-cake*" (torta nuziale) a causa della bizzarra forma che gli edifici assumevano: un massiccio elemento alla base caratterizzato dai numerosi *setback* dal quale nasceva, all'improvviso, una torre altissima dalle forme scultoree in alcuni casi eleganti, ma spesso anche estremamente sgraziate.

Con l'applicazione della *Zoning Law* si modificò, per "legge", la forma degli edifici e, con essa, le prestazioni richieste al *service core*.

Come giustamente nota Corbett⁹ nel 1924, "*il problema diventa ora quello di due edifici, uno sopra l'altro, in cui il sistema di ascensori di quello superiore passa, come "espresso", attraverso quello inferiore.*" Inoltre, aumentando le distanze che gli ascensori dovevano percorrere, aumentavano anche i tempi di viaggio necessari: per garantire lo stesso livello di servizio a due edifici aventi la medesima popolazione l'edificio più alto richiedeva infatti un maggior numero di ascensori. La ricaduta economica dovuta all'aumento del numero degli ascensori si ripercuoteva sul fabbricato in due modi:

! Un aumento dei costi di costruzione a causa del costo diretto degli ascensori;

! L'aumento dell'ingombro degli ascensori nel piano tipo e, di conseguenza, la riduzione degli spazi commerciabili (NRA).

Con l'introduzione del sistema delle torri si accentuava così il problema della massima altezza economica. Qualora il sito costringesse a costruire torri molto alte¹⁰, per raggiungere la superficie minima commerciale necessaria a "rientrare" dall'investimento (dati i prezzi elevatissimi delle aree edificabili¹¹), queste richiedevano un numero crescente di ascensori che, occupando spazio, riducevano il rapporto NRA / GFA: l'individuazione esatta del punto di equilibrio di tale sistema diveniva cruciale per la riuscita finanziaria e funzionale del grattacielo¹². Tale problema (risolto

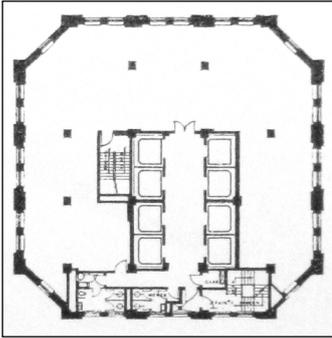
	<u>55 Storeys</u>	<u>80 Storeys</u>
Land - - - - -	\$16,000,000	\$16,000,000
29,000,000 on ft. @ \$1.00 - - - - -	29,000,000	34,000,000 cu. ft. @ \$1.00 (25 addtl storeys 80 x 240)
Total cost - - - - -	<u>45,000,000</u>	<u>50,000,000</u>
1st Mtg (5½% - 2% S.F.) - - - - -	<u>25,000,000</u>	<u>27,500,000</u>
Balance - - - - -	20,000,000	22,500,000
2nd Mtg (6½% with 20% of Com.) (Stk as bonus) - - - - -	<u>10,000,000</u>	<u>12,500,000</u>
Balance - - - - -	10,000,000	10,000,000
Pfd. Srk (7% with 80% of Com. bonus) - - - - -	10,000,000	10,000,000
<u>I N C O M E</u>		
1,750,000 sq. ft. @ \$3.25 - - - - -	5,690,000	1,750,000 sq. ft. @ \$3.25 5,690,000 330,000 " " @ \$4.00 <u>1,310,000</u>
Vacancies 10% - - - - -	<u>570,000</u>	<u>7,000,000</u>
	5,120,000	6,300,000
Op. Exp. 1,750,000 sq. ft. @ 75¢ - - - - -	1,312,500	3,080,000 Sq. Ft. @ 75¢ 1,560,000
Taxes 40,000,000 " @ \$2.66 - - - - -	<u>1,047,500</u>	44,000,000 " @ \$2.66 <u>1,170,000</u>
Total Expense - - - - -	<u>2,360,000</u>	<u>2,730,000</u>
Bal. for Capital - - - - -	2,760,000	3,570,000
1st Mortg. Interest - - - - -	<u>1,375,000</u>	<u>1,510,000</u>
	1,385,000	2,060,000
1st Mtg. S. F. 2% - - - - -	<u>500,000</u>	<u>550,000</u>
	885,000	1,510,000
2nd Mtg. Int - - - - -	<u>650,000</u>	<u>810,000</u>
Bal. for owners - - - - -	235,000	700,000
\$10,000,000 - 7% Pfd. Stk - - - - -	<u>700,000</u>	<u>700,000</u>
Bal. for Com. Stk - - - - -	465,000	0

*2nd \$12,500,000 \$1,000,000 S.F.
 2,500,000 S.F.
 1st \$10,000,000 \$500,000 S.F.
 \$500,000 S.F.*

Img. 7.12 - La tabella riportata è tratta da uno scambio di comunicazioni tra i developer dell'Empire State Building per decidere l'entità dell'investimento. Il confronto, tra due edifici alti 55 e 80 piani mette in risalto la maggiore rendita della seconda opzione. Nonostante 80 piani fosse il limite massimo dell'investimento economicamente più efficiente, l'edificio finale venne costruito con un'altezza di 85 piani, per strappare al Chrysler Building il titolo di "grattacielo più alto del mondo".

empiricamente già nel 1924 quando lo Straus Building di Chicago adottò per la prima volta una sorta di *sky lobby*) ha condizionato fino agli anni 60 il bilancio economico e funzionale dei grattacieli imponendo, di fatto, un limite all'altezza degli edifici dovuto a questioni di funzionalità. A riprova dei complessi calcoli che precedevano la costruzione di un grattacielo esistono numerosi articoli, raccolte epistolari e libri che descrivono l'attività degli speculatori edilizi.

La presenza di una torre, così come è già stato analizzato per il Woolworth Building, rendeva necessario un sistema di comunicazione verticale e di servizi ottimizzato. Infatti un errore di valutazione o una misura troppo generosa nella distribuzione delle varie funzioni aveva ripercussioni su ogni piano dell'edificio, riducendo sensibilmente la probabilità di successo economico dell'iniziativa speculativa. Con la comparsa delle torri si determinarono le condizioni di base per la creazione del *service core* vero e proprio: una figura compatta che racchiude all'interno di un unico nucleo tutti i servizi necessari all'edificio alto. Infatti, dovendo esserci continuità verticale tra i principali sistemi tecnologici del *service core* (a causa della presenza degli ascensori, dei cavedi principali, delle scale ecc), questo doveva



Img. 7.13 - La Zoning Law, lasciando libertà di volumetria solo su un quarto della superficie del lotto, ha prodotto esempi di edifici dalle forme molto snelle e slanciate, come il City Bank Farmers Trust Building (1931). A causa delle piccole dimensioni della torre centrale, dovute alla limitata superficie del lotto di su cui l'edificio è stato costruito, il service core è collocato su un lato, in modo da consentire una maggiore flessibilità d'uso degli spazi rimanenti.

necessariamente essere posizionato al centro del perimetro di base del grattacielo, in modo da poter servire la torre soprastante. Nella base, il nucleo principale veniva circondato dai servizi necessari ai piani inferiori, che si interrompevano man mano al crescere dell'altezza creando così una forma piramidale. Tale configurazione rispecchiava la migliore organizzazione possibile, dato che la geometria piramidale degli apparati meccanici si adattava bene a sfruttare lo spazio profondo dei piani inferiori, altrimenti inutilizzabile a causa dell'illuminazione naturale insufficiente. All'interno della torre il *service core* veniva collocato nella posizione più efficace: nel caso di edifici di grosse dimensioni (Empire State Building, Chrysler Building ecc.) esso occupava una posizione centrale circondato da una cintura di uffici ai quali si accedeva direttamente o tramite un corridoio di distribuzione; nel caso di torri di ridotte dimensioni (appartenenti quindi a lotti piccoli come il City Bank Farmers Trust Building) il *service core* veniva posizionato su un lato dell'edificio poiché una sua collocazione centrale avrebbe creato degli spazi perimetrali eccessivamente piccoli e di conseguenza difficilmente utilizzabili.

La legislazione di Chicago, anche a causa delle numerose crisi del settore edilizio che investirono la città, era molto più stringente di quella newyorkese: ferma restando l'imposizione di un limite d'altezza massimo del fronte strada, dal 1924 la regolamentazione concesse la costruzioni di torri che, modellate sul regolamento di Manhattan, potevano occupare il 25% della superficie del lotto. A differenza di New York però il volume della torre era limitato a 1/6 del volume totale dell'edificio. Pur non essendovi dunque un limite formale all'altezza, il sistema di comunicazioni interna imponeva di fatto un limite alla realizzabilità delle torri limitandone lo sviluppo verticale. A causa di questo vincolo, Chicago venne distanziata da New York nella corsa al primato dei grattacieli. Alcune significative innovazioni nella progettazione del *service core* vennero comunque introdotte anche a Chicago. Oltre al già citato Straus Building, Il Jewelers Building ospitava al centro dell'edificio, al posto del cavedio di illuminazione tipico, un parcheggio verticale per automobili gestito da un complesso sistema automatizzato. La sua introduzione, indicatrice della crescente importanza dell'automobile nella mobilità urbana, pose le basi per una peculiarità costruttiva di Chicago che ancora la differenzia dalla maggior parte delle altre città americane: la presenza di parcheggi fuori terra, spesso collocati ai piani bassi di numerosi grattacieli.

Il ruolo del service core nell'immagine del grattacielo

Carol Willis sottolinea giustamente che "la sagoma degli edifici imposta della *Zoning Law* restrinse le possibilità di disegnare il volume, soprattutto per

costruzioni su lotti piccoli o medi, (...) per il lotti grandi (...) invece, c'era una considerevole libertà all'interno della sagoma, e la specifica forma degli edifici era ritagliata dalle logiche dell'economia più che dai limiti della legge"¹³. In base a questa affermazione, e dall'analisi di numerosi edifici realizzati dal 1916 in poi a New York, si potrebbe erroneamente supporre che la forma degli edifici minori fosse influenzata unicamente dal rispetto della sagoma limite mentre, per gli edifici più importanti, era maggiormente affidata alle decisioni stabilite in sede di pianificazione economica dal *developer*. Sebbene in effetti molti degli edifici minori riempissero completamente la sagoma a "wedding cake" disponibile in base ai limiti imposti dalla *Zoning Law*, si possono riscontrare almeno due casistiche in cui alcuni parametri dell'edificio sono stati determinati in base alle prestazioni del *service core*:

! i grattacieli che sfruttavano la possibilità di costruire una torre;

! i numerosi esempi di edifici a "wedding cake" realizzati in altre città americane non interessate da regolamenti edilizi che imponessero dei setback.

La libertà di costruire una torre senza limiti di altezza sul 25% della superficie del lotto consentiva di fatto di realizzare una superficie commerciabile potenzialmente infinita. Il vincolo di altezza era però imposto da ragioni economiche e strutturali, ma soprattutto dall'esponenziale riduzione dello spazio utile all'aumentare dell'altezza a causa dell'ingombro prodotto dal *service core*. Oltre un certo limite, condizionato di volta in volta dalle dimensioni del lotto, edificare un numero di piani in più comportava la necessità di aggiungere un ulteriore gruppo di ascensori e, di conseguenza, ridurre lo spazio disponibile ai piani bassi.

"La *Zoning Law* suggerì il design e, allo stesso tempo, lo insegnò attraverso la pratica. In nessun altro modo l'effetto sperato avrebbe potuto essere raggiunto così completamente, e la miglior prova è data dai numerosi grattacieli disegnati in accordo con lo stile, in città nelle quali non esiste una legge simile"¹⁴. Lo stile dei *setback* divenne agli occhi di tutti lo stile moderno dei grattacieli "non greco, né romano, classico o del rinascimento, ma (uno stile, *ndt*) che è quello di oggi"¹⁵. Nei casi in cui la sagoma dell'edificio non era imposta ma volontariamente ispirata allo stile "wedding cake", la definizione dei volumi era però affidata a dettagliati calcoli economici e ingegneristici perché "se la forma a volte segue la moda, lo fa solo fino al limite in cui è conforme al budget"¹⁶. I *setback* dei grattacieli di numerose città che semplicemente imitarono lo stile di New York (Il Palmolive Building di Chicago, il Koppers Building di Pittsburg o il Pacific Telephone and Telegraph Building di San Francisco) sono dimensionati in



Img. 7.14 - Il Palmolive Building di Chicago (1929) è uno dei numerosi esempi di grattacieli costruiti secondo la "moda del setback" in una città in cui non esisteva un regolamento che richiedesse l'utilizzo degli arretramenti propri dell'architettura newyorkese.

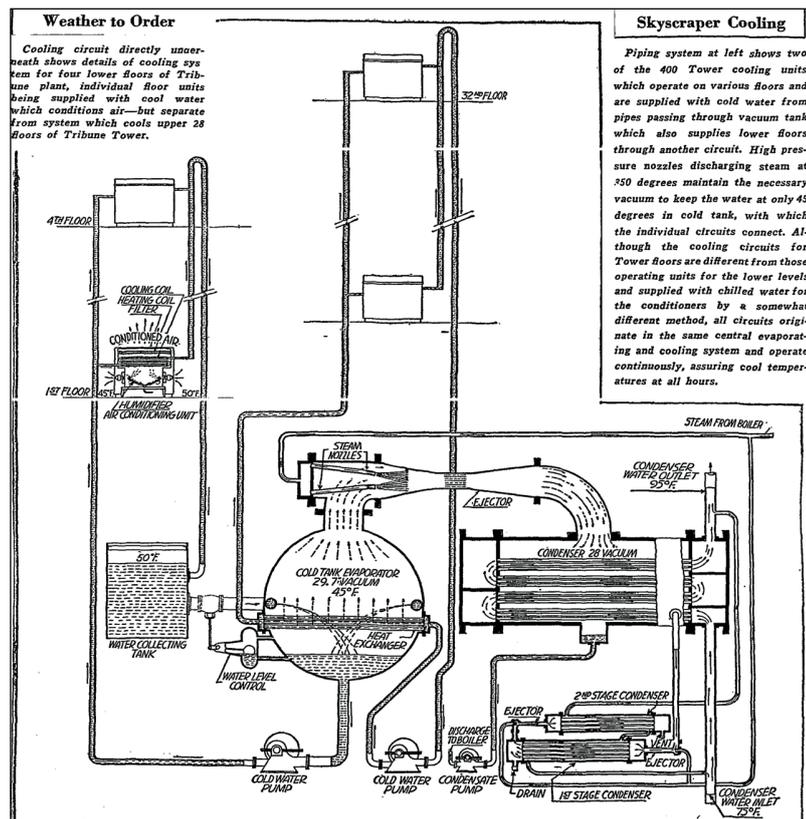


Img. 7.15 & 7.16 - Il Chicago Tribune, divenne, il 10 Giugno 1934, il più grande edificio al mondo dotato di aria condizionata. Per "celebrare" il giorno più caldo della storia di Chicago il direttore del quotidiano proprietario dell'edificio fece installare un imponente sistema di condizionamento dell'aria. Il conseguente aumento del valore commerciale dell'immobile dimostrò a tutti l'attenzione prestata dagli utenti di un edificio commerciale a questa nuova tecnologia. A destra, lo schema tipo dell'impianto installato.

base all'organizzazione interna del *service core* che, come per i grattacieli più grandi e famosi di Manhattan, fu il più importante fattore di modellazione della forma.

Le innovazioni tecnologiche alla base del moderno service core

La crisi che nel 1929 colpì l'economia americana diede una pesante battuta d'arresto alla costruzione dei grattacieli. I grandi colossi di New York (Empire state Building, Chrysler e Rockefeller Center) e alcuni grattacieli a Chicago realizzati a cavallo della crisi o nei primissimi anni seguenti rimasero in gran parte vuoti per decenni, scoraggiando la realizzazione di nuovi interventi. Il peso della crisi fu tale che l'Empire State Building, il cui osservatorio produsse nel primo anno di apertura un fatturato superiore all'affitto degli uffici, venne ribattezzato dalla stampa satirica "Empty State Building". La produzione di edifici alti riprese solo qualche anno dopo la fine della Seconda Guerra Mondiale, intorno agli anni 50. Durante questo periodo, comunque, alcune innovazioni posero le basi per l'evoluzione dei grattacieli dalla "cattedrale della finanza", come veniva spesso chiamato il Woolworth Building, ai moderni edifici che si sono diffusi in tutto il mondo e che rappresentano la più efficace immagine della modernità di una città. "Negli anni 50, i progressi tecnologici e i cambiamenti negli stili architettonici liberarono l'edificio alto dalla sua dipendenza dal sito e dalla natura. Le lampade a fluorescenza e l'aria condizionata furono tanto importanti per la



trasformazione del grattacielo dopo la Seconda Guerra Mondiale di quanto lo furono l'ascensore e la struttura metallica per la sua nascita alla fine del XIX secolo¹⁷.

La prima di queste innovazioni era di fatto già esistente da parecchi anni: l'aria condizionata. Inventata nella prima decade del 1900¹⁸, iniziò a diventare uno status symbol della qualità edilizia a partire dagli anni '30. Nel giugno del 1933, per "festeggiare" il giorno più caldo nella storia della città, l'editore del Chicago Tribune convinse¹⁹ il gestore dell'edificio a installare un impianto di aria condizionata trasformando la Chicago Tribune Tower nel più grande edificio interamente climatizzato del mondo. L'iniziativa, portata a termine circa un anno dopo²⁰, ebbe il merito di riportare il valore medio dell'edificio dai 25 \$/m² prima dell'installazione del sistema, fino al valore precedente la crisi del 1929, ovvero circa 40 \$/m².

Negli stessi anni venne inoltre perfezionata la tecnologia delle lampade a fluorescenza che permettevano di produrre notevoli quantitativi di luce senza gli eccessivi apporti termici delle lampade a incandescenza. Tali tecnologie permisero, unitamente alla semplificazione dei codici edilizi di New York e Chicago, di creare le basi per la definizione dello stile dei grattacieli moderni. Grazie alla presenza dell'aria condizionata e dell'illuminazione artificiale, le limitazioni che avevano per più di 50 anni dettato le regole del costruire gli edifici alti vennero meno: le nuove tecnologie infatti rendevano ora pienamente sfruttabili gli spazi posti a qualsiasi distanza dalle finestre. Inoltre, grazie all'introduzione del vetro come materiale per le facciate nei regolamenti edilizi (già a partire dal '37), la possibilità di creare *curtain wall* interamente vetrati aumentava la penetrazione della luce naturale nelle aree più profonde dell'edificio, rendendole commercialmente più appetibili. Le innovazioni introdotte ruppero il legame di dipendenza tra la forma dell'edificio e il *service core*, permettendo di creare corpi di fabbrica più massicci e uniformi in tutta la loro altezza. Questa possibilità, unita a una revisione dei codici edilizi, permise di creare quelle forme geometriche pure che caratterizzarono i grattacieli dalla fine degli anni '50 e che presero il nome di International Style.

Contrariamente a quanto si può immaginare però, una volta svincolata la forma, il legame tra il *service core* e la dimensione dell'edificio rimase piuttosto stretto: l'introduzione del *curtain wall* vetrato, completamente sigillato, rese necessaria infatti l'introduzione di sistemi di ventilazione artificiale sempre più raffinati. Tale necessità comportava l'utilizzo di grandi cavedi verticali per l'immissione e l'estrazione dell'aria, che vennero collocati all'interno del *service core* accrescendone le dimensioni. I grattacieli nati durante la corrente dell'International Style erano accomunati da alcune caratteristiche estetiche, scaturite dai parametri di occupazione del suolo

concessi dai regolamenti edilizi. Il sistema dei *setback* e dei vincoli fissi era stato lentamente abbandonato in favore di un più flessibile sistema di compensazioni che permettevano, in cambio dell'introduzione di alcune "opere pubbliche" (piazze all'aperto, spazi commerciali, ingressi della metropolitana ecc) dei bonus di edificabilità da sfruttare in altezza. A New York la modifica della Zoning Law venne ufficializzata nel 1961, nonostante fosse stata già anticipata nei contenuti da numerose deroghe ed eccezioni. I grattacieli, non dovendo più riempire interamente la superficie del lotto per trarre il maggior beneficio in termini di volumetria edificabile, iniziarono a distanziarsi gli uni dagli altri, interrompendo il fronte strada continuo e creando spazi pedonali di circolazione intorno al loro perimetro. La conseguenza di questa possibilità era rappresentata da un notevole aumento del valore dell'immobile: il grattacielo, isolato al centro del lotto, poteva beneficiare di un'organizzazione interna degli uffici disposti sui 4 lati e di una vista aperta a 360°.

In seguito all'introduzione del *curtain wall* vetrato e al conseguente trasferimento verso l'interno dell'edificio delle funzioni di controventamento ai carichi orizzontali, il *service core* divenne in molti edifici un elemento fondamentale anche nel progetto strutturale, costituendo in cantiere il supporto di partenza per la realizzazione delle altre strutture verticali. Il suo dimensionamento, dettato ora anche da esigenze statiche, tende a produrre una forma regolare al cui interno sono racchiuse tutte le funzioni tipiche del *service core*. *Services* e *sub-services* sono così compresi in un perimetro regolare e ben definito costituito dagli elementi strutturali del *core*, a loro volta appositamente protetti dai materiali richiesti dalle specifiche normative antincendio.

Con l'introduzione della funzione portante, diffusasi nella quasi totalità dei grattacieli realizzati a partire dagli anni '60, il *service core* ha concluso il processo di sviluppo morfologico e funzionale che ha seguito di pari passo, e spesso influenzato, l'evoluzione del grattacielo stesso, andando ad assumere la caratteristica posizione centrale rispetto all'edificio.

- 15 Carol Willis, *Form Follows Finance*, (New York: Princeton Architectural Press, 1995).
- 2 A.T. North, "Tall Building Egress", *Architectural Forum*, Volume 52, n° 2 (1930).
- 3 William Gompert, "Planning office buildings for maximum returns", *Record and guide*, n° 126, (1930).
- 4 Mark Weiss, "Skyscraper zoning: New York's pioneering role", *Journal of the American Planning Association* volume 58, n° 2, (1992).
- 5 Weiss, M., op. cit.
- 6 George Ford, *Building Zones*, (New York: Lawyers' Mortgage Co, 1916).
- 7 Basil Blackwell, *Heights of Building Commission*, (New York: Board of Estimate and Apportionment, 1913)
- 8 Carol Willis, "Zoning and Zeitgeist: The Skyscraper city in the 1920s", *Journal of the society of architectural historians* volume 45, (1986).
- 9 Harvey W. Corbett, "The planning of Office Buildings", *Architectural Record*, volume 41 (1924).
- 10 Carol Willis, *Building the Empire State*, (New York: Norton & Company, 2007).
- 11 Henry Babcock, "Architecture and building economics", *Architectural Forum*, Volume 53, n° 5 (1930).
- 12 W. C. Clark, J. L. Kingston, *The skyscraper: a study in the economic height of modern office building*, (Cleveland: American Inst. of Steel Construction, 1930).
- 13 Carol Willis, *Form Follows Finance*, (New York: Princeton Architectural Press, 1995).
- 14 George H. Edgell, "American Architecture of Today", (New York: Charles Scribners Sons. 1928).
- 15 K. Pond, "Zoning and the Architecture of High Buildings", *Architectural Forum*, n° 35, (1921).
- 16 Carol Willis, Op. cit.
- 17 Carol Willis, Op. cit.
- 18 Bernard Nagengast, "Early Twentieth Century Air-Conditioning Engineering", *Ashrae Journal*, March (1999).
- 19 Anonimo, "Cool Tribune" *Time Magazine*, Lunedì 10 Luglio 1933
- 20 Anonimo, "Tribune turns on new cooling system today", *Chicago Daily Tribune*, 10 Giugno 1934



Le tipologie di service core esistenti

Il *service core* raccoglie delle funzioni che, come si è visto, sono indispensabili all'uso e all'esistenza stessa dell'edificio alto. Storicamente questo elemento è stato collocato nella parte centrale del grattacielo in corrispondenza della torre principale. Nel corso degli anni si sono venute a creare alcune variazioni rispetto alla prassi progettuale consolidata che hanno parzialmente modificato il concetto stesso di *service core*, frazionandolo in più elementi, moltiplicandolo o spostandolo addirittura all'esterno del corpo principale dell'edificio.

La disposizione del *service core* può variare in relazione a scelte progettuali, studiate per esaltare la flessibilità degli spazi interni, o per far fronte a esigenze funzionali al fine di beneficiare di alcune caratteristiche aggiuntive fornite da un *service core* non convenzionale. La possibilità di variare la sua posizione dipende però dall'abbandono, almeno parziale, delle funzioni strutturali legate essenzialmente alla presenza di un *core*.

Possono essere individuate almeno quattro tipologie principali di *service core* catalogate in base al posizionamento che questo assume nella pianta dell'edificio¹:

! Interna: rispecchia la tradizionale prassi progettuale; il service core è collocato all'interno dell'edificio, in posizione generalmente centrale, circondato interamente dagli spazi commerciabili;

! Perimetrale: il service core viene spostato in posizione fortemente decentrata rispetto alla pianta dell'edificio, fino a coincidere con il perimetro stesso dell'involucro;

! Esterna: il service core è posizionato all'esterno dell'involucro dell'edificio ed è a questo collegato tramite un elemento di raccordo funzionale;

! Diffusa: Il service core è frammentato in una serie di sotto-nuclei indipendenti, disposti in posizioni variabili all'interno o all'esterno del volume principale.

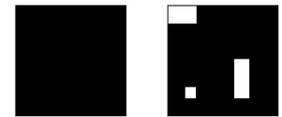
Nonostante alcune configurazioni possano essere considerate "ibride" è possibile comunque ricondurle all'interno di una di queste categorie a seconda che si privilegi un aspetto piuttosto che un altro della loro costruzione o funzione.

Service core interno

Il *service core* interno è utilizzato nella stragrande maggioranza degli edifici alti. La motivazione della diffusione raggiunta da questa disposizione è da ricercare nella comprovata tecnica progettuale e nella possibilità di attribuire a esso tutte le funzioni di base a cui è chiamato ad assolvere. Il *service core*



Interno Perimetrale



Esterno Diffuso

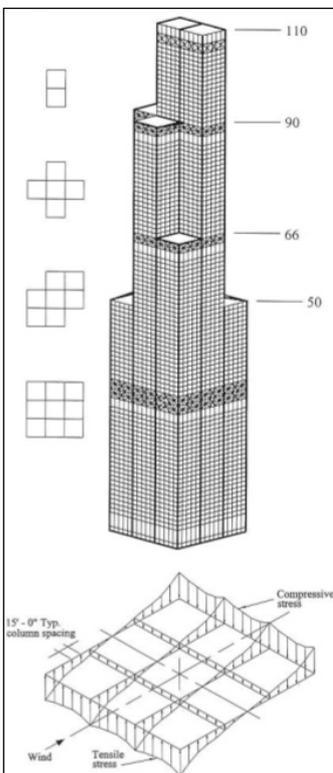
Img. 8.01 - Vengono considerate 4 tipologie di service core: Interno, Perimetrale, Esterno e Diffuso



Img. 8.02 - La sommità del Burj Dubai, ancora in fase di costruzione nel marzo 2008, pone in evidenza la presenza del core strutturale.



Img. 8.03 - Il Rockefeller Center, la cui forma caratterizzata dai numerosi setback è stata più volte descritta come conseguenza della zoning law, è in realtà frutto della deliberata intenzione dei progettisti. Nella foto in alto, in primo piano, è invece possibile notare la forma del 500 Fifth Avenue, con la caratteristica torre e i setback, in questo caso veramente dettati dall'esigenza di conformarsi alla Zoning Law



Img. 8.04 - Lo schema strutturale della Sears Tower, formato da un fascio di tubi, libera il service core dalle funzioni strutturali.

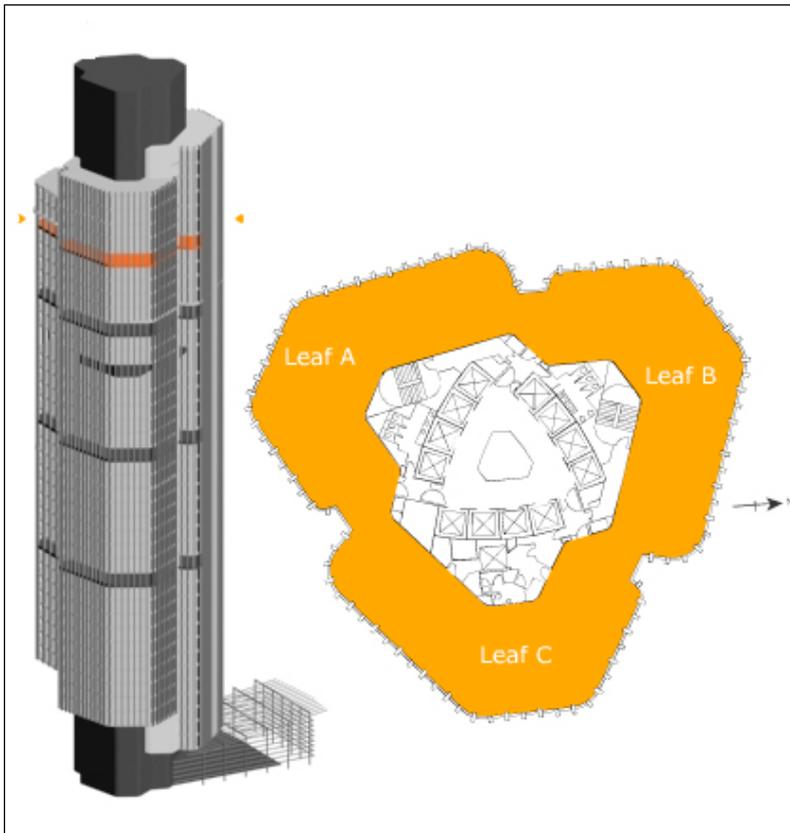
può essere perfettamente centrale o può risultare traslato rispetto al baricentro geometrico dell'edificio; il suo spostamento, pur conservandone le funzioni di distribuzione verticale, può però comportare la rinuncia, almeno parziale, alle sue funzioni strutturali.

Come si è già osservato, durante la prima metà del XX secolo la scarsa efficacia delle lampadine a incandescenza rendeva necessario, anche nella parti più lontane dell'involucro, l'utilizzo della luce naturale limitando, di fatto, la profondità dell'edificio: le conseguenze prodotte sulla forma di alcuni famosi grattacieli verranno esaminate in seguito. Successivamente, nonostante l'introduzione di più efficienti sistemi luminosi che hanno parzialmente svincolato la forma dell'edificio dalla sua relazione con luce naturale, il *service core* ha assunto un ruolo ancora più importante.

Con la nascita di sistemi strutturali più evoluti l'edificio alto ha trovato, come si è visto nel capitolo precedente, una molteplicità di configurazioni statiche differenti che hanno attribuito o meno al *service core* un ruolo strutturale. Sono innumerevoli gli esempi di *service core* centrale riscontrabili negli edifici moderni: la diffusa applicazione di questo schema organizzativo è da ricercare nei vantaggi economici derivanti dall'efficienza progettuale (espressa come NRA / GFA) che un *service core* centrale è in grado garantire. La configurazione interna con disposizione centrale viene inoltre utilizzata nella quasi totalità dei *super tall building* (ovvero gli edifici più alti di 300 metri), dove è generalmente sfruttata per la realizzazione del core strutturale. L'analisi di alcuni esempi è utile per chiarire il ruolo all'interno dei sistemi strutturali di un edificio alto.

Un esempio di edificio alto con *service core* centrale in cui non è tuttavia presente un core strutturale è rappresentato dalla Sears Tower di Chicago. L'edificio, che nel 1974 ha superato il record di altezza precedentemente detenuto dalle Twin Towers di New York, ha una struttura costituita da un fascio di nove tubi (*tube of tubes*) che contrasta le forze orizzontali tramite la rigidità dei singoli elementi e l'azione combinata della loro unione. I tubi hanno altezze diverse e si interrompono progressivamente conferendo all'edificio il caratteristico aspetto a gradoni, emblematico simbolo del binomio tra forma e funzione. Osservando la pianta del grattacielo si può notare la mancanza di un elemento strutturale solido che cinga il *service core*. Gli ascensori si interrompono progressivamente in funzione delle altezze ottimali del servizio di trasporto e la superficie da loro occupata ai piani inferiori si trasforma in superficie utile dell'edificio. Il *service core* è in questo caso molto irregolare, non dovendo rispettare la schematicità imposta dalla presenza di un core strutturale.

A differenza del sistema flessibile della Sears Tower, la Tower 42 di Londra presenta un sistema diametralmente opposto: il *service core* è interamente



circondato da un *core* che svolge la totalità delle funzioni portanti della torre, essendo l'unico elemento strutturale continuo. I solai sono realizzati a sbalzo rispetto al *core* in calcestruzzo. All'interno di questo sono collocati tutti gli elementi verticali che liberano così la superficie perimetrale dalla presenza di qualsiasi ingombro. La soluzione adottata è presente in altri edifici sebbene l'utilizzo di questo schema statico sia limitato a edifici di dimensioni relativamente modeste.

Una soluzione meno radicale di approccio strutturale è l'esempio delle Twin Towers di New York. Ognuno degli edifici consisteva in un sistema formato da due strutture a tubo concentriche (*tube in tube*) in cui sia gli elementi perimetrali che il *core* contribuivano alla rigidità dell'edificio. Con una simile configurazione strutturale il *core* deve essere regolare e svilupparsi uniformemente lungo tutta la sua altezza. Questo si scontra però con la maggiore flessibilità del sistema di trasporti verticali: gli spazi lasciati liberi dagli ascensori sono infatti difficilmente utilizzabili (a differenza che nella Sears Tower) a causa dell'invasiva presenza delle strutture del *tube*, e non possono pertanto venir conteggiati come NRA. Il sistema adottato nelle Twin Towers, per ovviare a questo limite, consisteva nell'utilizzo di un servizio di trasporto verticale dotato di due *sky lobby*: a discapito di una ridotta praticità di utilizzo (si costringe infatti i due terzi della popolazione dell'edificio a dover utilizzare due ascensori per recarsi al proprio piano) il sistema garantiva una minore occupazione di superficie ai piani bassi a favore di un più costante ingombro lungo tutta l'altezza della torre.

Img. 8.05 - La Tower 42 di Londra ha un core centrale che svolge la totalità delle funzioni strutturali dell'edificio. Dal core, ovviamente in posizione centrale, i solai sono a sbalzo e offrono spazi commerciali completamente liberi da strutture verticali portanti.



Img. 8.07 - La struttura delle Torri Gemelle di New York era formata da due tubi concentrici.

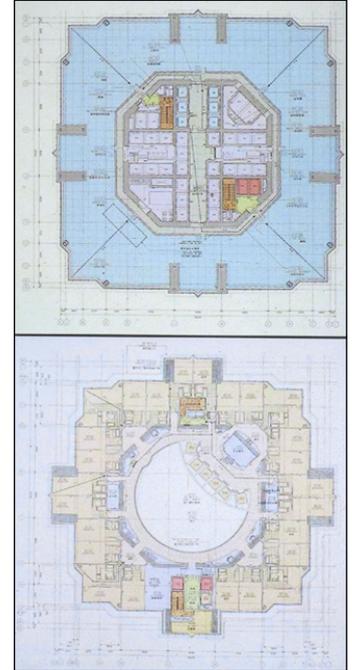
Img 8.08 - La sede della Bank of America di Boston è un altro esempio di edificio in cui al core sono affidata la resistenza dell'intera struttura sia ai carichi orizzontali che a quelli verticali. I solai, realizzati a sbalzo rispetto al nucleo centrale sono quindi liberi da qualunque elemento verticale.



Il Jin Mao Building rappresenta un altro esempio particolare di *service core*. L'edificio è infatti caratterizzato da un *core* ottagonale in cemento armato; nella parte inferiore dell'edificio il *service core* è racchiuso all'interno del corpo strutturale mentre nella parte superiore quasi tutti i suoi elementi vengono trasferiti all'esterno. Lo spazio rimasto libero all'interno dell'uniforme tubo di cemento armato si trasforma in una grande cavità che caratterizza la hall a tutta altezza degli ultimi trentaquattro piani dell'albergo. La distribuzione interna del Jin Mao è resa possibile dal cambiamento di destinazione d'uso dell'edificio che ospita degli uffici nella porzione inferiore e un albergo nella parte più alta. L'elemento di giunzione tra le due funzioni è dato da una *sky lobby* che permette di ridistribuire gli apparati tecnici e di permettere l'interruzione di gran parte degli ascensori.



Img. 8.09 & 8.10 - Ai piani più bassi dell'edificio, il core ottagonale del Jin Mao Building circonda il service core. Nei piani più alti invece, si ha l'inusuale soluzione di un service core esterno al core, il cui spazio interno si trasforma nella grande cavità che caratterizza il lussuoso albergo ospitato.



Gli esempi citati permettono di chiarire la differenza tra *core* e *service core*, presentando tipologie di edifici dotati o meno di *core* strutturale e in cui il *service core* è interno o esterno a esso.

Nonostante la presenza della funzione strutturale non interessi la totalità dei grattacieli, la ragione del larghissimo impiego della tipologia con *service core* interno è da ricercare nel minor valore economico delle funzioni in esso contenute rispetto alle principale destinazione d'uso degli spazi costruiti. L'illuminazione naturale e la possibilità di godere di una vista verso l'esterno sono considerati attributi di grande valore in qualunque edificio, indipendentemente dalla sua destinazione d'uso. Gli spazi del *service core*, essendo destinati al funzionamento tecnico dell'edificio o a spazi comunque utilizzati in modo saltuario e discontinuo (ascensori, corridoi, servizi igienici ecc), non necessitano di finestre, viste panoramiche e altre caratteristiche considerate invece elementi "valorizzanti" degli spazi principali. La collocazione interna del *service core* serve dunque a sfruttare la minore redditività degli spazi situati nel cuore dell'edificio, lontani da fonti di illuminazione naturale e privi di una vista esterna. Inoltre, trasferendo a esso i compiti strutturali di controventamento dell'edificio, si libera il perimetro

dagli elementi diagonali necessari a conferire sufficiente rigidità alla struttura. Questa caratteristica costruttiva permette una maggiore libertà compositiva nel disegno della facciata ed è pertanto preferita a soluzioni strutturali esterne.

La posizione interna fornisce anche degli indiscutibili vantaggi nell'efficienza d'uso dello spazio, limitando la presenza di corridoi di distribuzione e facilitando, grazie alla minore distanza da percorrere, anche le fasi di evacuazione degli utenti.

Un ulteriore vantaggio derivante da questa configurazione riguarda gli aspetti impiantistici, in particolare quelli relativi alla distribuzione della ventilazione meccanica. Lungo il *service core* infatti si sviluppano i condotti verticali di aspirazione e di distribuzione dell'aria. La loro posizione centrale permette una minore estensione e una sezione più ridotta delle diramazioni orizzontali di distribuzione ai piani.

Una delle conseguenze negative del posizionamento del *service core* all'interno del grattacielo è invece riscontrabile nei maggiori consumi energetici che tale configurazione produce. In questo elemento si producono infatti dei carichi termici notevoli dovuti al funzionamento di apparati meccanici (ascensori in primo luogo) o alla produzione e utilizzo di acqua calda (servizi igienici, cucine). La mitigazione di questi apporti di calore richiede l'impiego di sistemi di bilanciamento idonei e il conseguente ricorso al raffrescamento artificiale delle aree interne dell'edificio.

Un ulteriore fattore negativo deriva dallo scarso livello di percezione della posizione verticale che questa configurazione produce. L'assenza di una percezione visiva del movimento verticale che si prova all'interno degli ascensori "frammenta" verticalmente il grattacielo, interrompendo il concetto di condivisione dello spazio tra gli utenti dei vari piani. Questo effetto di isolamento provoca delle conseguenze variabili da una semplice sensazione emotiva di discomfort, dovuto all'impressione di solitudine degli abitanti dei grattacieli residenziali, alla mancata percezione del livello di pericolo di eventi, anche gravi, che avvengono all'interno dello stesso edificio.

I trend progettuali innovativi: l'abbandono della posizione interna/centrale del service core

Nel corso degli anni '60 e '70 si concluse l'innovazione "di massa" del *service core*, nel senso che terminarono una serie di processi innovativi che, partiti da alcuni edifici isolati, ebbero poi una immediata e generale diffusione alla totalità dei grattacieli. In quegli anni vennero infatti raggiunti gli obiettivi di confort, sicurezza e fruibilità dell'edificio che avevano stimolato l'industria dei grattacieli a evolversi per rispondere a pressioni interne o per andare incontro alle esigenze degli utenti. Da quel momento in poi, la

maggior parte delle innovazioni, spesso riguardanti il processo costruttivo più che il prodotto costruito, è infatti stata promossa dalla necessità di rispondere quasi sempre a modifiche normative o a esigenze tecniche.

A partire dalla Lever House di New York, da molti considerato il primo grattacielo “moderno” a tutti gli effetti, il processo evolutivo del *service core* si è fermato, avendo raggiunto un modello adatto a rispondere con efficacia alle esigenze commerciali della maggioranza degli edifici alti. A partire da quegli anni è però possibile individuare una serie di edifici che hanno segnato una discontinuità rispetto alla prassi progettuale consolidata, andando a definire dei nuovi schemi progettuali per il *service core*.

I primi esempi emblematici sono costituiti da due edifici progettati da SOM: l’Inland Steel Building di Chicago e il One Bush Street di San Francisco. In entrambi gli edifici il *service core* viene traslato completamente all’esterno della superficie del solaio andando a costituire un volume separato dal fabbricato principale. Il corpo principale dell’Inland Steel, stretto e lungo, è suddiviso dal punto di vista ottico dai pilastri perimetrali posti all’esterno dell’involucro. Questi costituiscono gli unici elementi verticali su cui si appoggiano le travi che attraversano, con la loro luce, l’intero edificio. L’effetto prodotto da questa “invenzione” progettuale è fortemente significativo: l’edificio è completamente libero da ostacoli interni e l’intera superficie dei solai è utilizzabile con la massima flessibilità. Lo spostamento del *service core* è reso possibile dalla piccola dimensione dell’edificio e dall’utilizzo di un sistema strutturale a maglia rigida. Questo esempio, assieme al grattacielo di San Francisco, rappresenta il primo esempio di *service core* esterno, trasferito al di fuori del corpo principale per esaltare la vocazione commerciale degli spazi interni, privilegiandone la flessibilità. La creazione di un *service core* decentrato ha avuto altri seguiti, forse meno radicali, che hanno comunque permesso di risolvere in modo inusuale, di volta in volta, alcune questioni di carattere distributivo.

Per individuare la direzione intrapresa nella progettazione del *service core* è necessario suddividere in tre categorie progettuali il panorama edilizio della costruzione degli edifici alti a seconda della loro vocazione innovativa:

! I super tall building: di altezza superiore ai 350 metri, rappresentano una piccolissima percentuale dei grattacieli costruiti². Per questi edifici la complessità strutturale e la soluzione di altre questioni tecniche impone l’utilizzo di prassi architettoniche e tecnologiche consolidate. Il service core svolge solitamente (sono rare le eccezioni) anche funzioni strutturali: la presenza del core rende dunque necessaria la collocazione centrale dell’elemento di continuità verticale.

! Gli edifici realizzati unicamente a scopo speculativo. Questi edifici, come descritto in precedenza, adottando la filosofia del “business as usual”

utilizzano cioè i più consolidati schemi progettuali tesi al raggiungimento dei massimi obiettivi di profitto. Le spinte innovative sono pressoché assenti in tutti gli aspetti della progettazione e si limitano al più all'adozione di sistemi tecnologici di grande impatto visivo al fine di promuovere un'immagine high tech dell'edificio.

! Gli edifici-simbolo (landmark) caratterizzati dalla ricerca di un segno distintivo e innovativo che li caratterizzi dal punto di vista estetico, strutturale o funzionale. Rappresentano una minima parte del mercato ma sono quelli che, per l'intreccio di competenze e di aspirazioni di tutti gli attori coinvolti nel loro processo di costruzione, offrono le più alte prospettive di innovazione.

Gli sforzi maggiori vengono concentrati per conferire agli edifici-simbolo forme inusuali che siano in grado di attirare l'attenzione e di segnare lo skyline urbano. In molti casi, da questa scelta ricadono conseguenze sulle altre unità tecnologiche dell'edificio, e l'intero progetto è interessato da un lavoro di ricerca che innova lo stato dell'arte della composizione architettonica e della messa in opera degli elementi. In un ristretto numero di esempi gli sforzi progettuali innovativi si concentrano sulla definizione di una nuova caratteristica del *service core*, che gli conferisce una funzione particolare o ne migliora il funzionamento complessivo.

L'attenzione si concentra qui su questa ristretta nicchia di progettazione degli edifici alti. A causa dell'esiguo numero di esempi realizzati disponibili è necessario prendere in considerazione anche gli aspetti più evidenti di alcune proposte progettuali presentate in occasione di importanti concorsi internazionali, alle quali però non ha poi fatto seguito la reale costruzione.

Lo spostamento del *service core* dalla tradizionale collocazione centrale richiede la modifica di gran parte delle prassi abituali di progettazione e costruzione dell'intero edificio. Proporzionalmente le configurazioni non convenzionali di *service core* rappresentano una piccola minoranza degli edifici alti, probabilmente inferiore al 5% dei grattacieli costruiti.

Tuttavia, agli indiscutibili vantaggi offerti da un posizionamento centrale del *service core*, fanno da contraltare delle caratteristiche altrettanto positive date da una sua configurazione atipica.

L'analisi delle soluzioni alternative al collocamento centrale del *service core* devono partire da un'importante considerazione: gli indispensabili parametri di sicurezza, comfort, fruibilità e realizzabilità tecnica ed economica sono frutto del processo di evoluzione precedentemente descritto. Raggiunti questi essenziali e imprescindibili risultati, è stato possibile iniziare una fase di revisione e di declinazione del *service core* nelle varie tipologie atipiche che verranno successivamente analizzate. Il processo di evoluzione in corso

ha presentato un numero esiguo di varianti che portano quasi sempre, inevitabilmente, alla perdita di una delle caratteristiche positive descritte. Solo grazie al livello tecnologico odierno è possibile ipotizzare una rinuncia “indolore” ad alcune di queste, che possono essere facilmente compensate da soluzioni tecnologiche o impiantistiche impensabili fino a pochi decenni fa. L'esempio più evidente è dato dalla luce naturale, elemento imprescindibile per l'utilizzazione degli spazi fino agli anni '40, ma oggi facilmente sostituibile grazie alla qualità raggiunta dall'illuminazione elettrica. L'accelerazione dello stimolo all'innovazione, riscontrata negli ultimi anni, pone le sue radici nella nascita o nel rafforzamento di nuove esigenze che, spesso, sostituiscono o modificano la percezione degli altri bisogni a cui un edificio o una sua parte è chiamato a soddisfare.

Negli ultimi anni si moltiplicano le sperimentazioni formali sugli edifici alti, abbandonando sempre più la classica volumetria del parallelepipedo miesiano. Le motivazioni per questa ricerca formale, a volte esasperata, sono molteplici e influenzano di conseguenza anche la progettazione del *service core*.

Per distinguere un *service core* periferico da uno esterno si possono considerare le seguenti casistiche:

! Un service core perimetrale è tangente, per almeno uno dei suoi lati, con il perimetro dell'edificio e assume localmente anche la funzione di chiusura verticale. Il service core periferico è tuttavia parte integrante della geometria dell'edificio e non proietta su di esso ombre considerevoli.

! Un service core esterno risulta completamente staccato dall'edificio principale ed è a questo collegato tramite dei passaggi sospesi. Può inoltre essere considerato esterno un service core che, pur formando un corpo unico con il resto dell'edificio, ne risulti visivamente aggettante, proiettando sulla rimanente porzione dell'edificio delle ombre considerevoli.

In linea di principio i nuovi schemi progettuali sono mirati ad adattare il *service core* alle mutate esigenze (soprattutto strutturali e distributive/spaziali) dell'edificio. In alcuni casi al *service core* vengono anche attribuite delle funzioni aggiuntive, sfruttando per esempio la massa dei suoi componenti per migliorare il comportamento termico dell'edificio.

La sicurezza attiva e passiva, pur non avendo ancora prodotto evidenti innovazioni dopo gli attentati delle Torri Gemelle, appare sempre più un elemento chiave nella progettazione degli edifici, specie quelli che, per l'altezza rilevante o altre caratteristiche specifiche, risultano più a rischio nelle situazioni di emergenza³. Il posizionamento decentrato del *service core* può risultare vantaggioso nelle fasi di evacuazione di un incendio sia per la maggiore disponibilità di ventilazione, sia per la possibilità di

beneficiare, in orario diurno, dell'illuminazione naturale durante l'evacuazione⁴.

Un ulteriore vantaggio derivante da una collocazione atipica del *service core* riguarda la percezione, da parte degli occupanti, della loro posizione all'interno dell'edificio e del percorso compiuto verticalmente negli ascensori, che permette di superare le criticità "percettive" evidenziate dai *service core* centrali

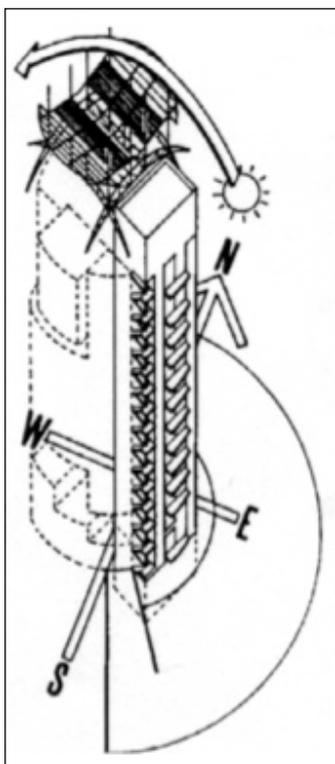
Service core perimetrali

Il posizionamento perimetrale del *service core* rispondeva in passato a un casistica relativamente ampia di situazioni esaminate in precedenza.

Con la nascita delle torri isolate promosse dall'International Style cambiarono le ragioni che spinsero alla collocazione perimetrale del *service core* di alcuni edifici, non più per "rimediare" alla vicinanza di un altro edificio, ma per sfruttare al meglio le caratteristiche interne dello spazio.

Un esempio emblematico di *service core* perimetrale è fornito dal Menara Mesiniaga Building di Kuala Lumpur. Anche in questo caso le ragioni che stanno alla base di una collocazione decentrata sono parzialmente dovute a una migliore efficienza d'uso dello spazio (a causa delle piccole dimensioni dell'edificio). Tuttavia, come espressamente dichiarato dal progettista Ken Yeang⁵, il posizionamento del *service core* è stato dettato dall'esigenza di favorire il controllo climatico interno all'edificio utilizzando la massa dei suoi elementi funzionali come *buffer* termico per schermare i raggi del sole del mattino e prevenire il surriscaldamento degli spazi interni adibiti a uffici. La scelta di adottare un *service core* perimetrale viene dunque motivata anche dalle esigenze di controllo climatico interno; tale opportunità, che verrà studiata in seguito nel dettaglio, rappresenta uno dei motori dell'attuale processo di evoluzione del *service core*.

La scelta del posizionamento perimetrale del *service core* deve tenere attentamente in considerazione le ricadute su tutte le sue componenti e, in particolare, sul sistema strutturale dell'edificio. Gli schemi strutturali interni prevedono la presenza di un *core* strutturale che contrasti le spinte orizzontali che agiscono sulla costruzione. Il decentramento del *service core* non provoca di per sé problemi legati alle forze di taglio che sollecitano la struttura ma può provocare degli sforzi torsionali dovuti all'elasticità dei materiali impiegati. In questo caso l'edificio dovrà essere dotato di un'ulteriore elemento strutturale continuo (*shear wall* o *shear truss*) che sia in grado di compensare il momento torcente risultante. Tale elemento, la cui collocazione ideale è in posizione diametralmente opposta rispetto al *service core*, ha il compito di riportare il baricentro delle strutture dell'edificio



Img. 8.11 - Il Menara Mesiniaga di Ken Yeang (1992) a Kuala Lumpur sfrutta il *service core* perimetrale per schermare i raggi del sole al mattino, in modo da prevenire il surriscaldamento dell'edificio.

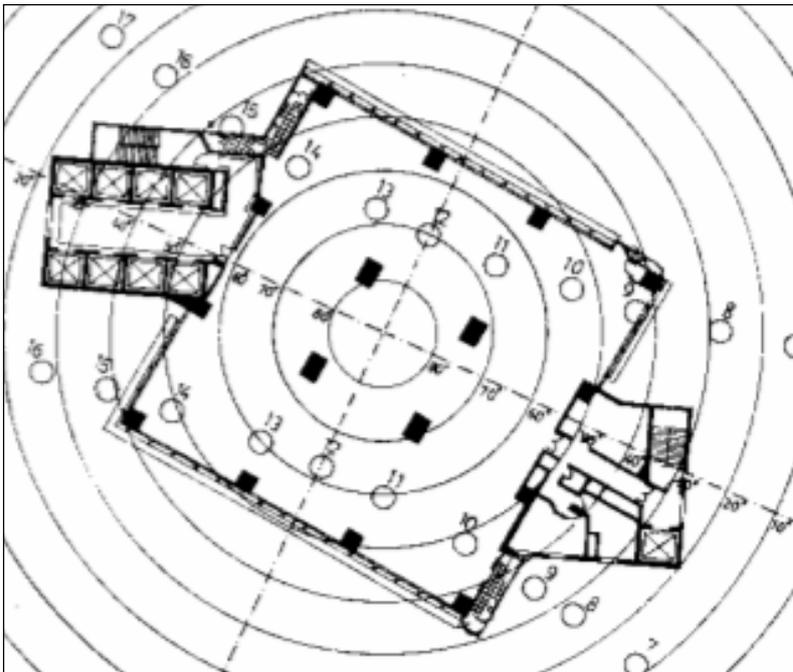
in prossimità del baricentro geometrico dello stesso. Maggiore libertà distributiva è invece concessa dalle configurazioni strutturali esterne che svincolano il *service core* da qualunque funzione portante.

Service core esterno

Esistono alcuni esempi di edificio in cui il *service core* è costituito da un volume autonomo, completamente indipendente dal corpo di fabbrica principale e connesso a quest'ultimo tramite un collegamento "leggero" tra i rispettivi livelli.

I primi esempi di edifici dotati di *service core* esterno sono costituiti, come descritto, da due grattacieli quasi contemporanei costruiti da SOM a Chicago e a San Francisco: l'Inland Steel Building (1957) e il One Bush Plaza (1959). Entrambi gli edifici hanno dimensioni abbastanza ridotte (18 e 20 piani rispettivamente) e la loro struttura è costituita di un telaio metallico rigido di pilastri e travi di grande luce. Il *service core* è geometricamente separato dal corpo principale per enfatizzare la differenza tra spazi serviti e spazi serventi dell'edificio. Gli edifici sono stati realizzati nel periodo precedente la crisi petrolifera e la scelta di collocamento del *service core* non è quindi dovuta alla volontà di cercare soluzioni per il risparmio energetico, come invece è stato sottolineato per il Menara Mesiniaga. Osservando il One Bush è comunque possibile notare come l'orientamento dell'edificio faccia sì che il *service core* proietti la sua ombra sul corpo principale impedendo quindi l'insolazione diretta del fronte posto a sud.

Il principio di ombreggiamento è stato invece esplicitamente⁶ adottato per la realizzazione del *service core* dell'IBM Plaza di Kuala Lumpur, opera dell'architetto Ken Yeang. L'edificio è addirittura dotato di due *service core*



Img. 8.12 - La radiazione solare interessa, nei paesi della fascia equatoriale, prevalentemente i fronti est e ovest di un edificio. Nel IBM Plaza di Kuala Lumpur Ken Yeang ha duplicato il *service core* esterno, in maniera da ombreggiare entrambi i fronti dell'edificio.

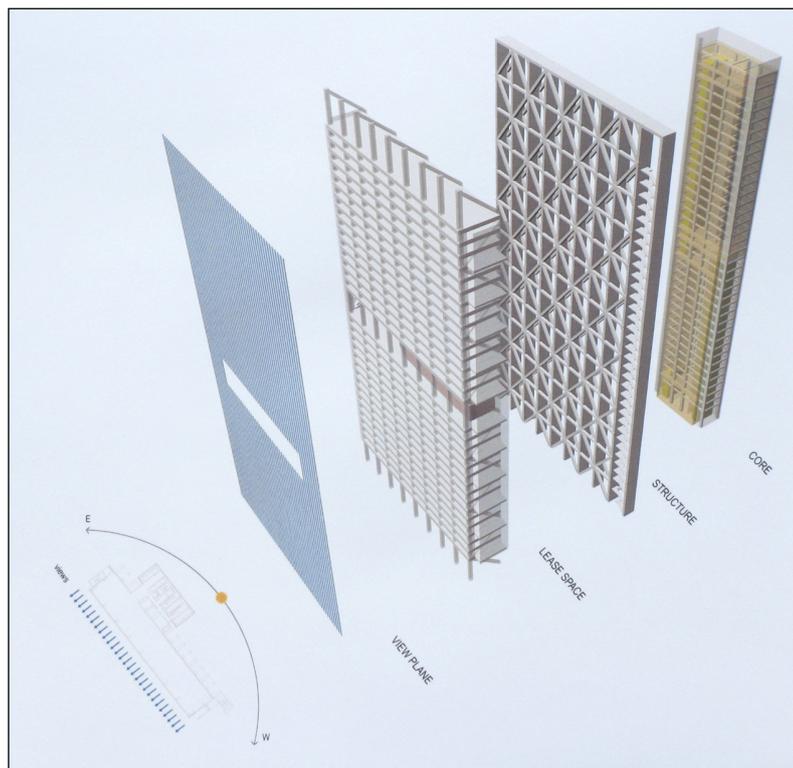
complementari dedicati rispettivamente al trasporto verticale e all'alloggiamento di servizi igienici e spazi tecnici. L'edificio sorge nella zona equatoriale: in questa localizzazione geografica l'irraggiamento principale proviene da Est e Ovest, posizioni in cui il Sole si trova rispettivamente prima e dopo mezzogiorno. La massa delle strutture opache del *service core* viene utilizzata per ombreggiare i fronti dell'edificio in modo da ridurre l'apporto termico solare e limitare i consumi di energia complessivi.

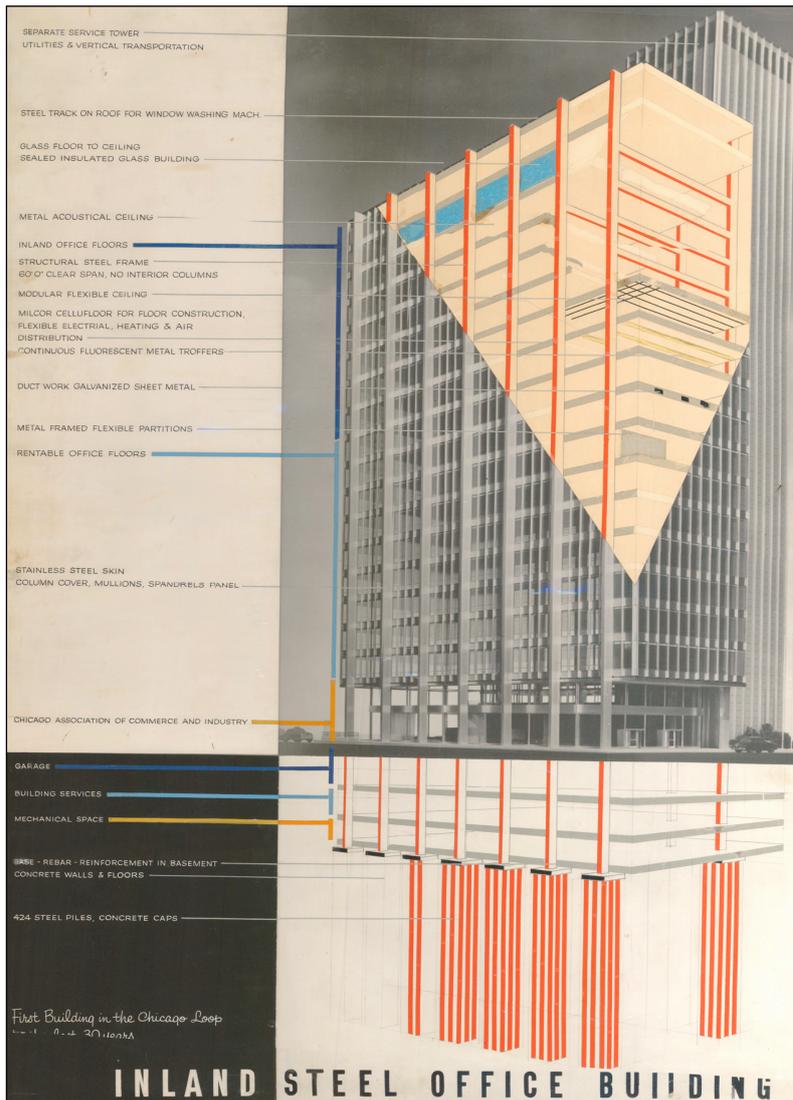
L'esempio più recente di *service core* esterno è il complesso di edifici "Poly" realizzato nel 2007 a Shengzen (Cina) da SOM. I due edifici gemelli portano lo studio del *service core* esterno a una scala maggiore. Essi infatti hanno un'altezza di 35 piani e tutti i sistemi di connessione verticali hanno di conseguenza una maggiore rilevanza volumetrica. Oltre al *service core*, posto sul lato sud dell'edificio, anche la struttura portante viene quasi interamente trasferita all'esterno e utilizzata come elemento di schermatura. Il progetto è rappresentabile tramite una serie successiva di *layer*, ognuno dei quali è caratterizzato da una precisa funzione: il *service core*, posto sul lato sud, crea il principale elemento di oscuramento dell'edificio. L'elemento strutturale, caratterizzato dal reticolo portante in acciaio e cemento, protegge il retrostante *layer* di uffici dall'azione diretta del sole consentendo comunque il passaggio della luce solare. Infine un quarto strato è costituito dalla facciata a doppia pelle che chiude il fronte nord dei due edifici.

Il complesso Poly riporta all'attualità il posizionamento esterno del *service core* motivandolo, oltre che in relazione a intenti di risparmi energetico, anche in chiave strutturale, aumentando la resistenza ai carichi orizzontali



Img. 8.13 & 8.14 - Il Poly International Plaza costruito da SOM a Shengzen (Cina) ha un interessante sistema a layer. Il *service core* esterno e la struttura portante, posti a sud, ombreggiano lo "strato" degli uffici, riparandolo dalla radiazione solare.





Img. 8.15 - Le particolarità tecnologiche e distributive rese possibili dall'innovativo design dell'Inland Steel Building, vennero ampiamente sfruttate per promuovere commercialmente l'edificio, primo grattacielo costruito nel Loop di Chicago dopo una depressione decennale.

del sottile volume degli edifici. Il risultato architettonico e funzionale è sicuramente di grande interesse e sottolinea le possibilità stilistiche derivanti dall'introduzione, all'esterno del grattacielo, di un elemento solitamente nascosto al suo interno.

Per la realizzazione di un *service core* esterno, l'edificio deve chiaramente affidarsi a una struttura esterna, non potendo sfruttare il sostanziale contributo di un *core* interno. Il *service core* esterno può tuttavia, con la sua struttura autonoma, contribuire parzialmente alla statica dell'edificio, fornendo un supporto ulteriore per contrastare le spinte laterali, come visto nel caso del Poly Building.

La progettazione di un *service core* esterno deve inoltre tenere in considerazione le esigenze impiantistiche dell'edificio. Funzionando infatti come elemento di distribuzione verticale dei vari impianti meccanici necessari all'edificio, un suo posizionamento esterno può rendere poco efficiente il funzionamento di alcuni di questi, in particolare i cavodi dell'impianto di ventilazione.



Img. 8.16 - Il Chase Building di Chicago, ha due service core posti sui lati corti dell'edificio. Tale configurazione, oltre a risultare pratica ai fini dell'organizzazione dell'edificio in più tenant, assicura anche una maggiore efficacia delle vie di fuga, rendendo il sistema di evacuazione più sicuro.

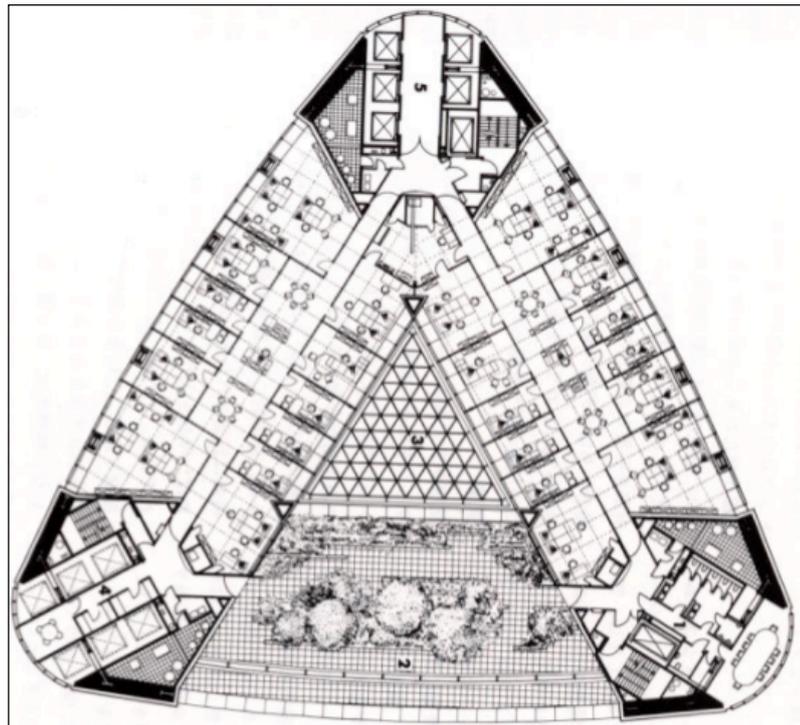
Service core Multipli / Diffusi

La realizzazione del *service core* multiplo e/o diffuso nega, sostanzialmente, il senso del *service core*, venendo meno la caratteristica della compattezza intrinseca nella sua stessa definizione derivante dall'aggregazione di diversi elementi funzionali.

Gli esempi di *service core* multipli sono numerosi: il Chase Building di Chicago, che ha fornito il modello per un piccolo numero di edifici architettonicamente e strutturalmente identici tra loro, è un esempio di *service core* doppio. Dalla forma allungata, la pianta dell'edificio è chiusa sui lati minori da due *service core* aventi anche funzione portante. I trasporti interni sono suddivisi in base al piano di destinazione finale nei vari *bank* di ascensori di cui ogni nucleo è dotato.

Il palazzo dell'Enel a Napoli presenta, a grandi linee, la stessa configurazione a doppio *service core*. In questo caso la presenza dei due *core* strutturali ha fornito lo spunto per l'utilizzo di un sistema costruttivo derivato dalla realizzazione dei ponti: i solai sono stati infatti realizzati a terra e successivamente sollevati fino alla quota di destinazione utilizzando i due *core* come le pile di un ponte sospeso.

Un esempio emblematico di *service core* multiplo è rappresentato dalla Commerzbank di Norman Foster. Il volume dell'edificio è caratterizzato da elementi a "V" alti 4 piani che ruotano progressivamente all'aumentare dell'altezza. Ogni modulo è ruotato di 120 gradi rispetto al precedente, creando un vuoto centrale continuo per tutto lo sviluppo del grattacielo. Gli spigoli della "V" sono gli unici elementi verticali continui e costituiscono gli elementi di appoggio della torre. L'edificio è così dotato di tre *core* strutturali,



Img. 8.17 - La Commerzbank di Foster è un ottimo esempio di *service core* multiplo con funzione strutturale. La successiva rotazione degli elementi a "V" che formano l'edificio fa sì che i vertici del triangolo siano i soli elementi di continuità verticale ciascuno destinato a svolgere, pertanto, tutte le funzioni caratteristiche del *service core*.

all'interno dei quali sono inserite le funzioni di trasporto e i servizi igienici. La configurazione spaziale utilizzata è molto efficiente dal punto di vista strutturale: i *core* vengono utilizzati come le pile di un ponte la cui luce viene colmata dai solai degli spazi principali.

Il *service core* diffuso è un'ulteriore smaterializzazione del *service core*: in questa tipologia le varie funzioni sono disgiunte una dall'altra e vengono generalmente collocate in modo da sfruttarne la loro massa quale elemento di controllo dell'irraggiamento solare.

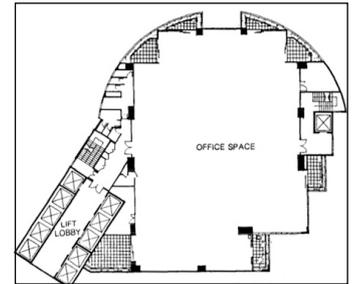
Anche in questo caso Ken Yeang ha fornito, attraverso la propria attività, i principali spunti di riflessione e di applicazione pratica. Il Plaza Atrium e il Menara Boustead di Kuala Lumpur sono gli esempi di riferimento di questa tipologia.

Nella tipologia multipla/diffusa il *service core* (o meglio i singoli elementi disaggregati che lo compongono) possono avere funzioni strutturali (e sono in questo caso rigidamente inseriti all'interno di uno schema geometrico, come nell'edificio di Foster) oppure, più frequentemente, hanno solo una funzione di controventamento e vengono pertanto inseriti all'interno di uno schema strutturale a travi e pilastri.

Le motivazioni che rendono i *service core* multipli interessanti, dal punto di vista progettuale, devono essere ricercate nella maggiore libertà concessa nella progettazione di edifici di forma complessa. Indipendentemente da ciò, la possibilità di realizzare elementi di connessione verticale in vari punti dell'edificio può essere utilizzata per ragioni di sicurezza, in modo da creare la ridondanza delle vie di fuga. Il caso delle Torri Gemelle di New York ha evidenziato la vulnerabilità di un sistema costruttivo (l'assenza di un core strutturale monolitico in calcestruzzo che protegga, grazie alla massa dei suoi materiali, le vie di fuga) e di una consuetudine progettuale (la vicinanza delle vie di fuga tra loro). Una distribuzione non aggregata delle vie di fuga sulla pianta di un grattacielo, sebbene potesse comunque risultare inefficace in un evento delle proporzioni degli attacchi dell'11 settembre, rappresenta una soluzione migliore garantendo, in caso di fallimento di un sistema di evacuazione, l'integrità degli altri.

Le nuove funzioni: Ventilazione, inerzia termica e ombreggiamento

Nel corso degli ultimi anni, a causa del crescente interessamento per le tematiche ambientali enfatizzato anche dall'aumento dei costi energetici, si è lentamente sviluppata una nuova tendenza progettuale. Per la prima volta l'attore principale e promotore dell'innovazione non è stato né l'utente finale, né il *developer*, ma l'elemento di congiunzione di queste due figure: il progettista. Grazie infatti allo sforzo personale di alcune figure professionali



Img. 8.18 - Il Menara Boustead ha lo spazio riservato agli uffici quasi completamente circondato dal service core e da piccoli terrazzamenti che ombreggiano l'edificio.

di rilievo (primi fra tutti Ken Yeang e Norman Foster) è infatti stato possibile “creare”, anche per l’edificio alto, un nuovo attributo: la sostenibilità del costruito. A eccezione di alcune imposizioni normative finalizzate al contenimento dei consumi energetici, che hanno interessato la produzione edilizia in generale, l’adozione di misure più efficaci è stata finora lasciata alla volontà dei singoli attori del processo edilizio. Gli elementi più ricorrenti, salvo appunto quelli necessari per raggiungere gli obiettivi minimi richiesti per legge, sono legati prevalentemente alla realizzazione di soluzioni per la produzione energetica (solare e fotovoltaico) e per una gestione più efficiente delle risorse idriche.

Oltre a queste soluzioni impiantistiche, che influenzano solo marginalmente il design degli edifici, esistono altre possibilità legate alla natura morfologica del manufatto. Sin dalle primissime fasi di concezione e di definizione volumetrico-funzionale del grattacielo è infatti possibile mettere in pratica degli accorgimenti che si ripercuoteranno, a edificio ultimato, sul suo funzionamento e sui bilanci energetici derivanti.

Le più recenti tendenze progettuali, in alcuni casi ancora inesprese in progetti reali ma desumibili dall’analisi saggistica e dalle proposte presentate in occasione di alcuni concorsi di idee⁷, attribuiscono al *service core* delle nuove funzioni che si vanno ad aggiungere a quelle tradizionali di trasporto verticale, distribuzione impiantistica e strutturale. Queste, principalmente dedicate alla riduzione dei consumi energetici dell’edificio, conferiscono al *service core* un nuovo ruolo anche nel progetto architettonico del grattacielo.

La ventilazione forzata occupa una voce importante del fabbisogno di energia di un edificio, dovuto, anche in assenza di esigenze di condizionamento o di raffrescamento, agli impianti meccanici necessari alla circolazione dell’aria. Gli edifici alti sono infatti solitamente privi di finestre apribili e la qualità dell’aria interna, di primaria importanza per il mantenimento di un ambiente salubre, è interamente affidata al sistema di ventilazione forzata e alle macchine di trattamento dell’aria.

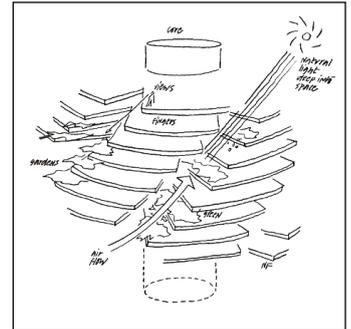
Lo sfruttamento congiunto del vento e dell’effetto camino ai fini di migliorare la ventilazione interna degli edifici ha un’origine antica e ha avuto la sua più emblematica applicazione nelle “torri del vento” ampiamente diffuse nelle città dei paesi arabi. Gli edifici che sfruttano l’effetto camino ai fini della ventilazione naturale utilizzano dei volumi vuoti verticali, appositamente creati, che innescano e direzionano il moto convettivo, regolandolo tramite aperture poste alla base e alla sommità dei camini. Lo sfruttamento ai fini della ventilazione naturale delle opportunità offerte da questa tecnica è però possibile solo nelle aree climatiche dove la temperatura esterna è, per molti mesi all’anno, leggermente più bassa della temperatura interna di comfort.

Uno degli edifici alti più rappresentativi nello sfruttamento del principio della ventilazione naturale è stato il 30 St. Mary Axe disegnato per la sede londinese della Swiss Re Company dallo studio Foster. Il sistema di circolazione naturale dell'aria si basa sulla creazione di vuoti verticali ottenuti tramite l'apertura di porzioni dei solai all'interno dell'edificio⁸. I tagli, che si susseguono ai vari livelli con un leggero scostamento angolare regolare, formano delle cavità elicoidali dell'altezza di 6 piani. L'effetto di ventilazione creato è reso possibile grazie allo sfruttamento del vento esterno e, in assenza di questo, all'effetto camino prodotto dalle cavità. L'aria interna, più calda a causa dei carichi termici dovuti alla presenza degli utenti e delle apparecchiature elettriche, sale attraverso i camini e viene espulsa grazie all'apertura delle finestre poste all'estremità superiore di questi. La depressione creatasi permette l'ingresso, dalle finestre inferiori, di nuova aria che viene distribuita naturalmente agli ambienti interni. Nonostante secondo alcuni⁹ il sistema non abbia creato i vantaggi sperati, il 30 St. Mary Axe ha rappresentato comunque un importante precedente per lo sfruttamento dei benefici ottenibili dal controllo dell'effetto camino.

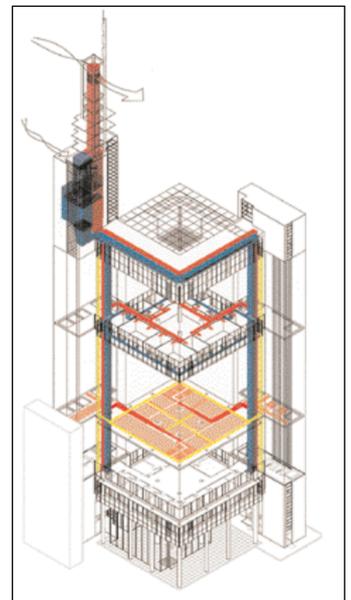
Gli elementi verticali creati dal taglio di porzioni di solai successivi possono essere considerati, pur in un'accezione "estesa" del termine, come parte del *service core*. Essi infatti sono stati creati per produrre attivamente un effetto utile al funzionamento dell'edificio: il loro ruolo può infatti essere assimilato a quello dei cavedi di ventilazione in cui l'aria, anziché tramite un moto di naturale convezione, viene mossa grazie all'azione di una pompa. A conferma di questa teoria è interessante notare che Ken Yeang ha scelto, per la copertina del suo libro intitolato "Service Cores"¹⁰ proprio l'immagine del cavedio interno di ventilazione della Commerzbank di Foster. Lo spazio cavo (pur essendo interrotto orizzontalmente da vetrate trasparenti per questioni legate alla diffusione dei fumi in caso di incendio) svolge infatti un ruolo attivo nella climatizzazione dell'edificio, distribuendo agli ambienti interni l'aria filtrata dai giardini pensili di cui la torre è dotata.

Nello stesso modo possono essere letti i cavedi di aspirazione e la "ciminiera" progettati da Thomas Herzog per la ventilazione della Messe Tower realizzata ad Hannover nel 2000. L'aspirazione è in questo caso prodotta dal duplice sfruttamento dell'effetto camino e dell'azione della ciminiera¹¹ che, tramite la creazione di un effetto di depressione delle aree sotto vento, facilita l'estrazione dell'aria esausta. Il sistema è in grado, in condizioni normali, di assicurare un ricambio di 1,5 volumi l'ora ed è dotato di estrattori meccanici che entrano in funzione qualora il flusso all'interno della ciminiera non sia sufficiente.

La traslazione del *service core* dal centro dell'edificio al suo perimetro è stata operata in alcuni casi al fine di rendere più razionale l'utilizzazione



Img. 8.19 - Il celeberrimo schema di Foster che raffigura il principio di funzionamento dei cavedi spiraleggianti del 30 St. Mary Axe. I vuoti verticali, funzionando effettivamente per distribuire un servizio all'edificio, possono essere conteggiati come parte del service core.



Img. 8.20 - le torri che ombreggiano la Messe Tower di Thomas Herzog forniscono anche la ventilazione forzata all'edificio. Anziché utilizzare strumenti meccanici il sistema funziona sfruttando l'effetto camino e l'aspirazione fornita dalla "torre del vento" posta sulla sommità di una delle due torri.

dello spazio interno. Spostando l'elemento verticale, solitamente collocato in posizione baricentrica, è così possibile realizzare ampie superfici continue, per poter inserire all'interno dell'edificio funzioni che necessitano di grandi ambienti liberi quali sale conferenze, cinema o piscine. Lo spostamento del *service core* produce però un altro effetto, finora scarsamente utilizzato in applicazioni reali. Esso infatti, trovandosi sul perimetro dell'edificio, sostituisce parte delle superfici vetrate e si trova così ad agire come un elemento massivo in grado di limitare l'accesso della radiazione solare all'interno del corpo di fabbrica. Anche in caso di assenza di un *core* strutturale il *service core*, dato che contiene le scale antincendio, è infatti realizzato con i materiali opachi e in grado di resistere al fuoco che sono necessari alla compartimentazione delle vie di fuga. La presenza di materiali opachi, dotati inoltre di una consistente massa (*core* in calcestruzzo o in acciaio rivestito con elementi modulari in gesso) reagisce agli scambi termici grazie all'azione combinata di vari fattori:

! Mancanza di irraggiamento. A differenza delle superfici vetrate che lasciano filtrare la radiazione solare direttamente all'interno dell'edificio (nonostante l'ormai diffusa presenza di film di schermatura), la presenza di materiali opachi smorza il passaggio della radiazione solare

! Migliore isolamento termico. Lo spessore dei materiali e la loro minore conduttività termica riducono sensibilmente il passaggio di calore per conduzione. Inoltre, immagazzinando al loro interno il calore e rilasciandolo successivamente, sono in grado di smorzare al meglio l'effetto delle repentine oscillazioni termiche.

! Annullamento della convezione tramite infiltrazioni d'aria.

Il *service core* esterno svolge, come evidenziato nei casi del Poly Building o del IBM Plaza, delle funzioni di ombreggiamento intenzionalmente pensate per ridurre l'effetto della radiazione solare sull'edificio. Le origini del principio, seppure non motivate da finalità di conservazione dell'energia, sono da ritrovare nel Inland Steel Building e nel One Bush Plaza. La considerazione fondamentale alla base della decisione di adottare un *service core* esterno posizionato in modo da ombreggiare con il suo volume l'edificio deriva da un'attenta valutazione dei benefici e degli svantaggi prodotti dall'irraggiamento del sole. La gran parte dei grattacieli per uffici sono caratterizzati da un tipo di ventilazione meccanica prevalentemente improntato al raffrescamento degli ambienti occupati. Gli apporti termici interni, infatti, sono in molti casi sufficienti a sopperire le dispersioni termiche invernali¹². Gli edifici realizzati in climi caldi o temperati non avranno quindi bisogno, nemmeno durante i mesi invernali, di utilizzare un sistema di riscaldamento. Nei climi più freddi, invece, un impianto di *backup* notturno può in molti casi essere sufficiente per evitare un eccessivo raffreddamento

degli ambienti; durante il giorno i carichi termici interni possono essere anche in questo caso sufficienti a garantire il comfort interno, specie in edifici dotati di un buon involucro protettivo.

Per gli edifici in cui è presente una consistente quota di riscaldamento invernale è importante dunque valutare l'effettivo equilibrio del sistema di ombreggiamento in quanto gli svantaggi prodotti nei mesi invernali possono essere superiori ai benefici sviluppati durante i mesi estivi.

- 1 Ken Yeang, *Service Cores*. (Chichester: Wiley Academy, 2006).
- 2 Philip Oldfield, "Tallest 20 in 2020", *CTBUH Journal*, Autunno, (2007).
- 3 Priyan Mendis, Tuan Ngo, "9/11: Five Years on - Changes in Tall Building Design?" in *Electronic Journal of Structural Engineering* volume 6, (2006).
- 4 Mohd Zahiden Bin Jafaar, *Design for Egress in Tall Building*, (Technology University of Malaysia:2006, Internal Report).
- 5 Kamran Safamanesh, "Menara Mesiniaga, *Technical Review*", (1995).
- 6 Ken Yeang, "Designing the green Skyscraper", *Habitat Intl.* volume 15, n°3 (1991).
- 7 Antony Wood, Philip Oldfield, "Bridging the gap: An analysis of proposed evacuation links at height in the World Trade Centre design competition entries", presentato al convegno internazionale: CTBUH 7th World Congress: Renewing the Urban Landscape, New York, 16th-19th October 2005.
- 8 Wendy Meguro, *Beyond Blue and Red Arrows: Optimizing Natural Ventilation in Large Buildings*. (Massachusetts Insitute of Tecnology: 2005, Internal Report).
- 9 Dichiarazione di un "Principal" di Arup, intervistato nell'Ottobre 2007 dall'autore in uno degli studi americani della società di ingegneria. L'intervistato desidera mantenere l'anonimato.
- 10 Ken Yeang, *Service Cores*. (Chichester: Wiley Academy, 2006).
- 11 Alessandra Battisti, "Torre sostenibile: Thomas Herzog a Hannover", *Modulo*, n° 264 (2000).
- 12 Ian Knight, Gavin Dunn, *Evaluation of Heat Gains in UK Office Environments*, (The Welsh school of Architecture, Cardiff: 2003, Internal Report).



Le relazioni del service core con il resto dell'edificio

Il progetto del service core

La progettazione del *service core* è un momento particolarmente delicato del processo di sviluppo tecnologico di un grattacielo, a causa dell'elevata densità delle unità tecnologiche in esso racchiuse e della molteplicità delle funzioni contemporaneamente svolte da molti elementi.

Quasi tutti i professionisti coinvolti nel progetto di un grattacielo risultano anche coinvolti nella progettazione del suo *service core*, anche se tra le varie figure è possibile comunque distinguere alcuni attori che ricoprono un ruolo di maggior rilievo:

! *l'architetto;*

! *lo strutturista;*

! *l'impiantista;*

! *Il trasportista.*

A questi, coordinati da una figura che ricopre un ruolo "olistico" (solitamente rappresentata dall'architetto), vanno poi aggiunti chiaramente il *project manager* e il *developer* (che rende proprie le esigenze dell'utenza finale).

Ogni attore coinvolto nella progettazione del *service core* sviluppa gli aspetti di sua competenza trascurando almeno parzialmente, a causa della diversa formazione teorica, i rapporti che ogni parte di questo elemento instaura con le altre. Il compito di mediare le richieste dei singoli specialisti e recepirne le indicazioni spetta all'architetto o, meglio, allo *staff* dello studio di progettazione che si occupa della redazione complessiva del progetto.

Un diagramma, che sintetizza i risultati di una ricerca compiuta all'Università dell'Illinois a Urbana Champaign¹, permette di individuare le principali relazioni esistenti l'attività delle varie discipline professionali e tra le varie unità tecnologiche di un edificio alto. Oltre a quelle evidenziate, l'analisi condotta sul *service core* ha permesso di individuarne delle altre che completano il quadro dei rapporti esistenti tra questo e le unità tecnologiche (ma non solo) di un edificio alto.

Il *service core* influenza ed è a sua volta influenzato da:

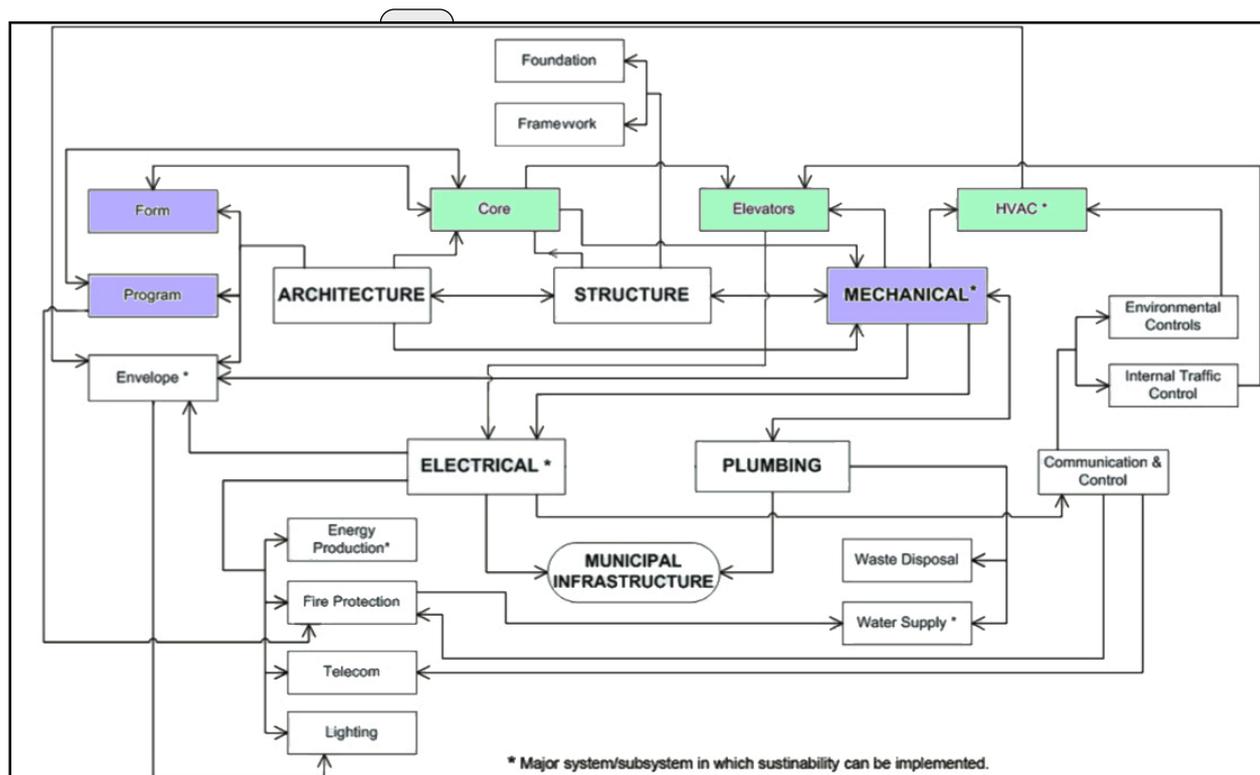
! *la forma dell'edificio;*

! *la struttura di elevazione verticale;*

! *le chiusure verticali;*

! *le partizioni verticali interne;*

I rapporti che lo mettono in relazione con queste unità tecnologiche possono assumere varie forme e livelli di complessità e vanno dall'influenza su



Img. 9.01 - Il diagramma rappresenta le principali relazioni esistenti tra le varie "parti" di un edificio alto, stabilendo i rapporti di reciproca influenza.

alcune scelte stilistiche a problematiche funzionali alquanto complesse, oltre ovviamente alle relazioni con l'intero programma dell'edificio. Il controllo e la sapiente gestione di queste relazioni permette di sviluppare un progetto coerente e funzionante sotto tutti gli aspetti.

Il service core come elemento visibile

La scelta inusuale di portare il *service core* all'esterno o sul perimetro dell'edificio ha, ovviamente, delle conseguenze sull'immagine percepita del grattacielo. Analizzando alcuni esempi è possibile individuare gli effetti prodotti sulla volumetria del grattacielo dal punto di vista fisico o da quello mediato dalla percezione dell'osservatore.

In primo luogo è importante sottolineare come l'effetto prevalente ricercato dai progettisti di un grattacielo sia l'accentuazione della componente verticale della sua forma. Questo tentativo, riscontrabile specie negli edifici di media altezza, si esplicita frequentemente attraverso l'esaltazione delle linee verticali, siano esse parte integrante della struttura o elementi esplicitamente studiati a livello decorativo. Al di là di alcuni *super tall building* in cui la già rilevante altezza è stata ulteriormente sottolineata dalle linee verticali visibili in facciata (Twin Towers di New York, AON Center di Chicago), è possibile individuare numerosi esempi di costruzioni di modesta altezza che sono state "allungate" dalla creazione di effetti ottici appositamente studiati.

Un altro sistema utilizzato per accentuare la verticalità dei grattacieli consiste nella frammentazione della loro massa in più corpi di dimensioni

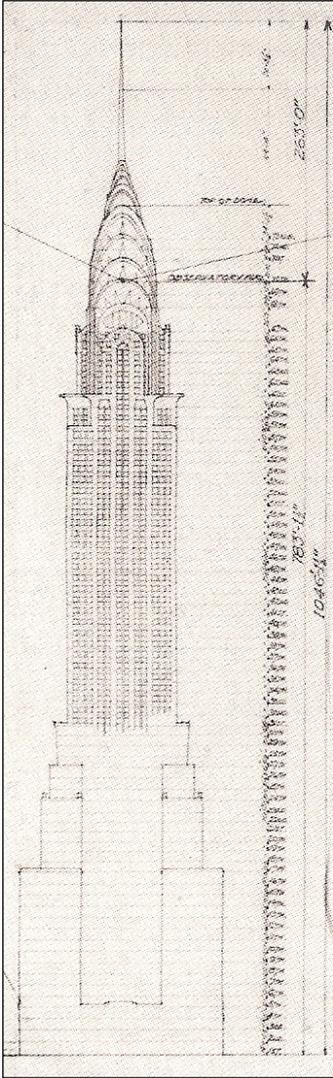
minori collegati tra loro a tutti i livelli (la Torre ELF a Parigi è un esempio di questa strategia). La traslazione del *service core* sul perimetro, o al suo esterno, viene spesso utilizzata proprio per questa finalità, “alleggerendo” la silhouette del corpo principale dalla volumetria degli spazi tecnici e di collegamento verticale. La traslazione del nucleo funzionale all'esterno ha inoltre il vantaggio di creare una continuità delle superfici interne non frammentate dei solai da utilizzare per le funzioni alle quali l'edificio è destinato. Esempi di questa strategia sono rappresentati dai già citati One Bush Street di San Francisco, Inland Steel Building di Chicago e Poly Plaza a Shengzen, tutti opera di SOM.

Il service core come elemento invisibile: effetti sulla forma dell'edificio

Nonostante la posizione centrale del *service core* lo renda spesso un elemento non visibile dall'esterno, l'attenta osservazione di alcuni edifici permette di rilevare le profonde influenze che questo elemento nascosto ha avuto sulla definizione della forma del grattacielo.

La forza dell'elemento tecnico, la cui volumetria e dimensione sono spesso determinate da condizioni che sfuggono al controllo del progettista (imposizioni di legge, vincoli dovuti a limiti meccanici, ecc.), è tale da condizionare, specie negli edifici caratterizzati da un più forte intento speculativo, le scelte compositive che portano alla definizione della volumetria e della dimensione stessa del grattacielo. Alcuni esempi, riferiti a varie epoche, possono contribuire a chiarire questa relazione.

Il primo esempio interessante da citare è costituito dall'Equitable Building di New York. Il progetto di questo grattacielo, il cui nucleo di servizi è stato citato in precedenza tra gli antesignani dei moderni *service core*, venne sviluppato in base al concetto della massima altezza trasportistica, calcolando cioè l'altezza in funzione delle caratteristiche del sistema di ascensori ottimale. Il promotore immobiliare aveva puntato sull'efficienza del sistema di trasporto verticale come uno dei principali elementi del marketing dell'edificio. Graham, titolare assieme a Anderson, Probst and White dello studio di Chicago incaricato del progetto, disse a Charles E. Knox affidandogli la messa a punto del sistema di ascensori: “Vogliamo che si dica in giro che il nuovo Equitable Building fornisce il miglior servizio di ascensori di qualunque altro edificio al mondo (...); il sistema di trasporto determinerà l'altezza dell'edificio”². In base a tale decisione si volle costruire un grattacielo in grado di fornire un servizio “eccellente” ai suoi oltre 50.000 utenti giornalieri: il progetto venne quindi dimensionato su un'altezza di 36 piani in base ai calcoli ottenuti dal sistema di ascensori. Nonostante la massima altezza economica, quella cioè che forniva la miglior rendita in rapporto all'investimento effettuato, fosse stata calcolata in 40 piani, il



Img. 9.02 - Il Chrysler Building, uno dei più noti grattacieli di New York assieme all'Empire State Building (con il quale viene spesso confuso) deve la sua forma ai limiti imposti dalla Zoning Law. La torre che si erge a partire dal 26° piano ha una superficie pari al 25% della dimensione del lotto. I piani inferiori dell'edificio arretrano progressivamente con i setback tipici dello stile a wedding cake.

servizio di ascensori avrebbe risentito negativamente dell'accresciuto numero di piani e, di conseguenza, non sarebbe stato in grado di offrire l'eccellente livello di trasporto auspicato dalla committenza. Il *service core* ebbe dunque un ruolo fondamentale nella definizione dell'aspetto esteriore del grattacielo condizionandone direttamente l'altezza finale.

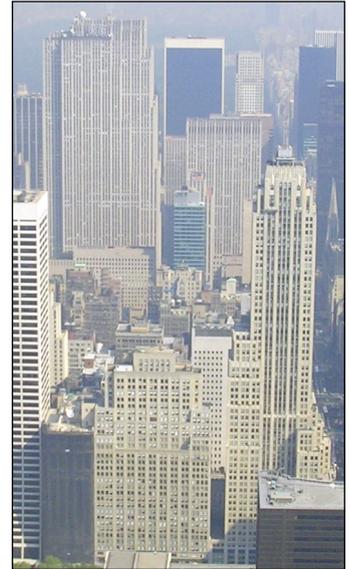
Altri due famosissimi grattacieli di New York devono la loro volumetria esterna ai condizionamenti imposti dal *service core*: il Rockefeller Center e l'Empire State Building. Questi due edifici vengono solitamente citati, assieme al Chrysler Building, come gli esempi meglio riusciti di adattamento alla Zoning Law. Le loro mastodontiche proporzioni risultano infatti molto più aggraziate se messe a confronto con quelle di altri grattacieli dell'era delle *wedding cake*, caratterizzati spesso dallo stridente contrasto tra un basamento molto massiccio e una torre eccessivamente esile. Il legame di questi tre grattacieli con la legge urbanistica del 1916 è stato però, probabilmente, troppo spesso sopravvalutato³. Osservando invece più dettagliatamente i progetti si evince come solo il Chrysler Building sia modellato secondo la tipica silhouette della Zoning Law: la torre, che si erge dal 26° piano in poi, ha una superficie pari a un quarto della superficie complessiva del lotto; al di sotto di questo livello, l'edificio è costituito da blocchi aventi lo stesso andamento degli edifici confinanti. A differenza del Chrysler Building, la vicenda progettuale dell'Empire e del Rockefeller Center fu sostanzialmente differente. Il principale motivo di questa differenza è legato alla dimensione, notevolmente superiore alla media, dei lotti sui quali questi edifici vennero costruiti.

Il Rockefeller Center venne sviluppato su un'area della dimensione di tre blocchi, attraversati da delle strade all'epoca private. La torre principale del complesso, che è composto attualmente da 19 edifici, sorge al centro dell'area su una superficie ben inferiore al 25% della superficie totale. È importante ricordare che, su un'area pari a un quarto della dimensione del lotto, la Zoning Law non imponeva alcun vincolo di edificabilità. Gli arretramenti che possono essere osservati nell'edificio non sono dunque imputabili alla regola dei *setback* ma la loro origine deve essere ricercata altrove. Come si è già detto, a causa dell'inefficacia dei sistemi di illuminazione artificiale, era prassi convenzionale limitare la profondità massima degli ambienti di lavoro a 28 piedi (circa 8 metri) dalla finestra più vicina⁴. È questa dunque la condizione che determinò la forma dell'edificio, imponendo la profondità massima degli ambienti commerciabili. La forma del grattacielo è dunque determinata dalla somma di questa "pelle" di uffici, spesso 8 metri, che ricopre gli spazi tecnici non commerciabili del *service core*. Come spiega Raymond Hood, progettista del Rockefeller Center: "quando ogni colonna di ascensori finiva, l'edificio arretrava in modo da

mantenere gli stessi 27 piedi dal centro al muro esterno. Così facendo abbiamo eliminato tutti gli angoli bui; non c'è un singolo punto dello spazio affittabile che sia a più di 27 piedi da una finestra"⁵.

Ancora più interessante è la storia dell'Empire State Building, indiscutibilmente uno dei grattacieli più famosi del mondo e, insieme alla Statua della Libertà, simbolo stesso della metropoli americana.

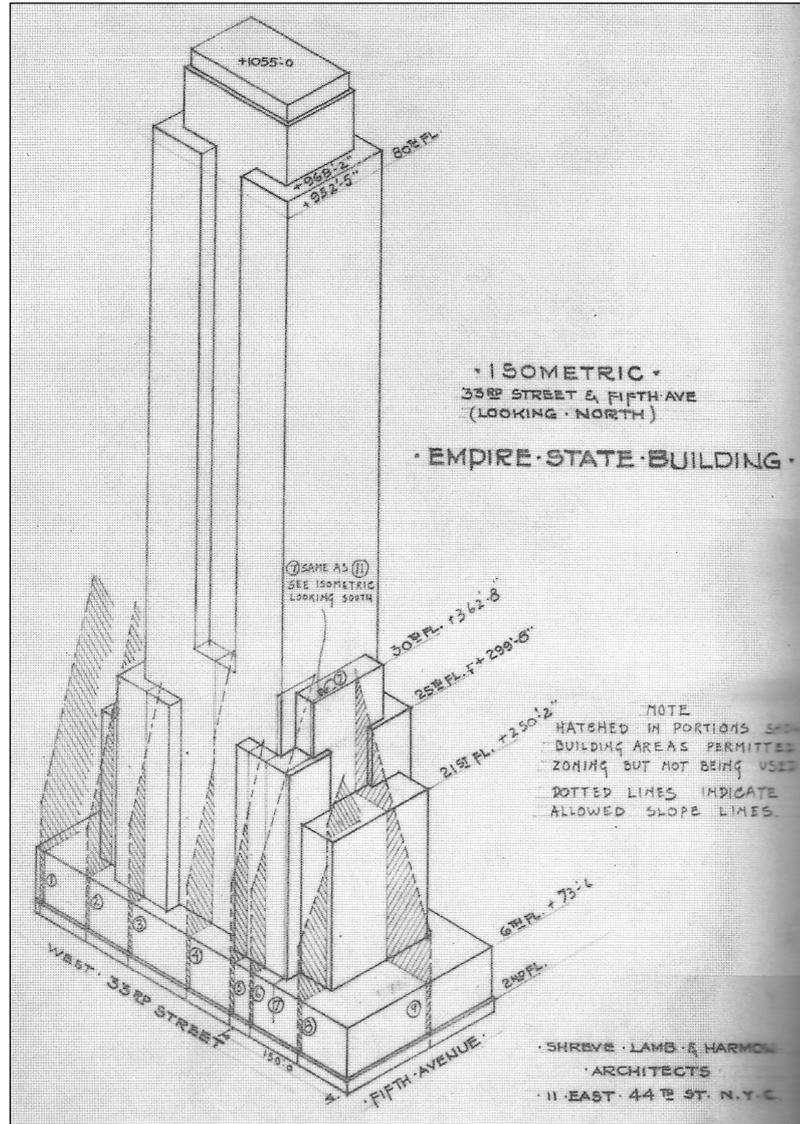
La forma che avrebbe dovuto assumere l'Empire State Building era, di fatto, già stabilita dal programma sulla base del quale vennero ingaggiati i progettisti. In un articolo apparso su "The Architectural Forum" del Gennaio 1931 William Lamb, progettista dell'Empire assieme a Shreve e Harmon, afferma che "il programma era abbastanza semplice: un budget prefissato, non più di 28 piedi dalla finestra al corridoio, il maggior numero di piani di questo tipo possibile, rivestimenti in pietra calcarea e consegna entro il 1° Maggio 1931, che significava un anno e sei mesi dell'inizio degli schizzi. I primi tre di questi parametri produssero la massa dell'edificio, gli ultimi due il suo aspetto"⁶. Il vincolo dato dal committente, che fissava la profondità massima dalla finestra al corridoio dettava quindi, di fatto, la forma dell'edificio. Lamb continua descrivendo l'Empire: "La logica è semplice. Una certa quantità di spazio al centro, configurato con la massima compattezza, contiene la circolazione verticale, toilette, cavedi e corridoi. Attorno a questo, un perimetro di uffici profondi 28 piedi. La dimensione dei piani si riduce come gli ascensori diminuiscono di numero: (...) quando questi si interrompono, l'edificio arretra"⁷. L'indipendenza della forma dell'Empire dalla sagoma della Zoning Law è evidenziata dal posizionamento dei setback; dei 6 arretramenti che contraddistinguono la forma del grattacielo, solo uno è necessario ai fini della normativa: quello del 30° piano. Ed è proprio la pianta di questo piano a determinare il disegno dell'intero edificio in quanto, in corrispondenza di questo livello, si ha il minimo rapporto tra NRA / GFA. Infatti, nel progettare un grattacielo, l'importanza maggiore deve essere riservata al piano tipo della torre: "Solitamente la progettazione di un edificio avviene dal basso verso l'alto (...) ma nel progettare un edificio alto si deve invertire l'ordine e procedere dall'alto verso il basso (...) il maggior ricavo proviene infatti dai piani tipo (della torre) quindi, se si devono fare dei sacrifici nella distribuzione in pianta è meglio che vengano compiuti una volta sola al piano terra, piuttosto che siano ripetuti venti o trenta volte nel piano tipo"⁸. Di conseguenza, la progettazione del 30° piano definì i caratteri generali dell'intero grattacielo: la dimensione massima di questo livello era fissata, a causa della Zoning Law, in un quarto della superficie totale del lotto. Dalla superficie ottenuta venne riservato un anello profondo 28 piedi per gli uffici; un secondo anello venne utilizzato per realizzare un corridoio di dimensioni adeguate e lo



Img. 9.03 - Il Rockefeller Center, la cui forma caratterizzata dai numerosi setback è stata più volte descritta come conseguenza della zoning law, è in realtà frutto della deliberata intenzione dei progettisti. Nella foto, in primo piano, è invece possibile notare la forma del 500 Fifth Avenue, con la caratteristica torre e i setback, in questo caso veramente dettati dall'esigenza di conformarsi alla Zoning Law



Img. 9.04 & 9.05 - La volumetria dell'Empire State Building confrontata con i limiti imposti dalla Zoning Law dimostra il ruolo marginale che la legge urbanistica ebbe nella definizione della sua volumetria. La forma venne invece condizionata dalle limitazioni tecniche del service core, dalle leggi del mercato immobiliare e dai complessi calcoli economici che precedettero l'inizio dei lavori di costruzione.



spazio centrale fu dedicato ai servizi del grattacielo: il *service core*. Il numero e la dimensione degli ascensori che si riuscirono a collocarvi all'interno determinarono l'altezza e la superficie totale dell'intero edificio. Infatti, fissato il numero di ascensori destinati alla torre, se ne determinava di conseguenza l'altezza, essendo questa condizionata dal numero massimo di piani che ogni *bank* era in grado di servire. Questa tesi è confermata dallo scritto di Lamb: "Il punto critico nelle planimetrie per determinare il numero di ascensori è il trentesimo piano dove, legalmente, inizia la torre, poiché l'area di questo livello, limitata dalla legge a un quarto della superficie totale della proprietà, ha un quantitativo limitato di spazio utilizzabile per le *utilities* al fine di avere ancora una adeguata superficie da affittare"⁹. Sempre su *Architectural Form* un articolo di Bassett Jones spiega le problematiche relative agli ascensori e il metodo di organizzazione del servizio di trasporto: "Se si fosse deciso di incrementare il numero dei grandi piani oltre il 5° livello, si sarebbe ben presto raggiunto un punto in cui solo degli ascensori double decker avrebbero fornito l'unica soluzione pratica"¹⁰.

La forma dell'edificio è così data da un grande podio alto 5 piani e dai *setback* intermedi al 21°, 25°, 30°, 72° e 80 piano. Gli ultimi piani della torre interrompono parzialmente la "sudditanza" della forma alle esigenze del *service core*: il primato di "edificio più alto del mondo" era un notevole elemento di marketing e si decise così di aggiungere ulteriori cinque piani per strappare al Chrysler Building il record. I cinque piani aggiuntivi vennero però riservati alla "Empire State Building Corporation", ovvero la società che gestiva l'immenso edificio, non tanto per celebrarne il prestigio quanto, anche in questo caso, per motivazioni legate a esigenze progettuali del *trasporto verticale*: per fornire un servizio adeguato anche agli ultimi piani sarebbe infatti stato necessario aggiungere un ulteriore *bank* di ascensori che avrebbe gravemente pesato sul bilancio NRA / GFA dei piani inferiori; si decise pertanto di creare una sorta di *sky lobby* all'80° piano: da questa, i dipendenti della Corporation (impiegati, non "clienti" dell'edificio) accedevano agli uffici aziendali utilizzando un servizio di ascensori locale.

Service core e chiusure verticali: la ventilazione.

Le scelte formali e compositive delle chiusure verticali sono condizionate, oltre che da esigenze stilistiche e tecnologiche, anche dalla tipologia di impianto di climatizzazione adottato. L'involucro, essendo l'elemento di separazione tra l'ambiente interno e l'esterno, è necessariamente interrotto nei punti di mediazione dei due sistemi in corrispondenza degli impianti per il trattamento dell'aria. Il primo elemento di relazione è rappresentato dai piani tecnici, evidenziati dalla inevitabile presenza delle griglie di entrata e uscita dell'aria. Le griglie, che interrompono la continuità dei sistemi di *curtain wall*, vengono solitamente adottate per la chiusura dell'intero livello tecnico, al contrario della loro reale necessità solo in corrispondenza delle macchine per il trattamento dell'aria. La scelta di rivestire l'intero livello è dettata prevalentemente da scelte di carattere formale, non essendo richiesta da ragioni tecnologiche legate al funzionamento degli impianti. Una soluzione alternativa adottata in alcuni casi è fornita dai pannelli *spandrel*, costituiti da uno strato vetrato esterno e da uno strato riflettente interno che riproduce con la massima fedeltà possibile la colorazione del *curtain wall*. Questa soluzione, che dovrebbe celare all'osservazione la presenza dei piani tecnici, è però applicata a un numero ridotto di casi, per due motivi:

! i pannelli spandrel, per quanto fedeli nella riproduzione cromatica del curtain wall, differiscono da questo in particolari condizioni di illuminamento (specialmente con il cielo nuvoloso) andando così a segnalare la presenza di un terzo elemento oltre ai due necessari: il curtain wall e le griglie di ventilazione.

! di notte, i pannelli spandrel appaiono come finestre non illuminate, e possono essere interpretati come interi piani sfitti, segno quindi di un insuccesso commerciale dell'edificio.

L'involucro può, inoltre, essere influenzato in maniera diffusa qualora la scelta dell'impianto di climatizzazione ricada su un sistema ad acqua. Questo sistema di ventilazione consiste nell'effettuare lo scambio termico direttamente all'interno dell'ambiente da climatizzare e non, come avviene negli impianti ad aria, in corrispondenza delle macchine di trattamento dell'aria. L'effetto di riscaldamento e di raffreddamento è veicolato mediante un liquido che viene poi utilizzato in un convettore per climatizzare l'ambiente. Per garantire il comfort interno e un adeguato numero di ricambi d'aria è però necessario prelevare localmente dell'aria esterna ed eliminare l'aria esausta interna. L'involucro è pertanto segnato da numerosi punti di discontinuità (generalmente coincidenti con il modulo base del sistema di rivestimento) coperti da griglie metalliche facilmente individuabili dall'esterno. Questa soluzione pone delle complicazioni negli edifici più alti, a causa della rumorosità delle griglie in presenza di vento.

I regolamenti edilizi di molte città prevedono inoltre che in ogni unità residenziale vi sia una determinata superficie di finestre apribili. Per ragioni di sicurezza e di regolarità delle facciate la superficie apribile viene suddivisa per ogni elemento modulare del *curtain wall*, ripartendolo in una porzione fissa e una piccola fascia, solitamente posta vicino al solaio inferiore, apribile manualmente.

Le discontinuità dell'involucro date dalla presenza delle griglie di ventilazione o delle finestre apribili pongono però un problema, specie nei grattacieli più alti, legato alla differenze di pressione che si sviluppano all'interno dell'edificio a causa dell'effetto camino.

Service core, chiusure e partizioni interne: l'effetto camino

L'effetto camino, che si produce in ogni elemento cavo verticale la cui temperatura interna sia diversa da quella esterna, provoca delle ricadute negative sulla sicurezza e sul livello di comfort dell'edificio. L'intensità del fenomeno è dipendente da due fattori: la differenza di temperatura (tra l'ambiente esterno e quello interno) e l'altezza del camino. Durante i mesi freddi l'effetto si percepisce come un movimento d'aria verso l'alto: la colonna d'aria calda contenuta nell'edificio tende a "uscire" tramite le aperture o le discontinuità poste ai piani superiori del grattacielo; durante i mesi caldi dell'anno il movimento avviene al contrario, con l'aria interna fresca, e quindi più densa e pesante, che tende a uscire dal basso dell'edificio. I vani verticali continui del *service core* sono dunque interessati

da un fenomeno naturale che non può essere eliminato ma può essere mitigato onde evitare onerosi fenomeni che si ripercuotono con l'aumento dei costi di riscaldamento e di climatizzazione; inoltre, in determinati contesti climatici dove le differenze di temperatura sono particolarmente rilevanti, gli effetti possono diventare potenzialmente fastidiosi o addirittura pericolosi, provocando per esempio l'impossibilità di aprire manualmente le porte delle vie di fuga. Il problema può essere contenuto limitando il più possibile la dimensione dei cavedi verticali (sigillando le intercapedini tra le condutture, interrompendo con porte a tenuta i vani scala, ecc.) e limitando gli scambi d'aria indesiderati attraverso l'involucro. La "sigillatura" dell'involucro deve essere pertanto eseguita con estrema precisione e garantita per differenziali di pressione commisurati alle caratteristiche del progetto.

Negli edifici in cui l'involucro non sia progettato per sigillare completamente l'interno dall'esterno (presenza di condizionamento ad acqua, presenza di finestre apribili o di porte per l'accesso a terrazze, ecc...) la funzione di "compartimentazione" del *service core* è affidata alle partizioni interne. Queste devono essere in grado di dividere perfettamente i vari ambienti, separando i corpi scale, i corridoi, i cavedi verticali ecc. dagli ambienti in cui si trovano aperture verso l'esterno. Il problema, che risulta relativamente facile da risolvere qualora i differenziali di pressione siano modesti, diventa più complesso negli edifici particolarmente alti situati in zone con eventi climatici estremi. Nelle *lobby* di ingresso, ai primi piani e ai piani più alti la pressione diventa un problema che influenza non solo le sigillature ma la progettazione stessa degli elementi non strutturali di suddivisione degli spazi¹¹. I due elementi descritti rappresentano un esempio di concatenamento dei rapporti tra le varie unità tecnologiche di un edificio alto: la scelta del metodo di ventilazione/climatizzazione (appartenente al *service core*) condiziona la progettazione dell'involucro tramite la presenza o meno di superfici apribili o di griglie di ventilazione. Queste, a causa dell'effetto camino, influenzano a loro volta la progettazione delle partizioni e degli infissi interni, oltre a condizionare lo stesso *service core* rendendo necessarie particolari attenzioni per interrompere, quanto più possibile, la continuità delle cavità verticali.

- 1 Mir M. Ali, Paul Armstrong, *Strategies for integrated design of sustainable tall buildings*, (Faculty of Architecture at University of Illinois at Urbana - Champaign: AIA Report on University research, 2006)
- 2 Winston Weisman, "A new view of skyscraper history", in *The rise of an American architecture*, Hitchcock H.R. et al. (New York: Pall Mall P., 1970).
- 3 Carol Willis, "Zoning and Zeitgeist: The Skyscraper city in the 1920s", *Journal of the society of architectural historians* volume 45, (1986).
- 4 Harvey W. Corbett, "The planning of Office Buildings", *Architectural Record*, volume 41 (1924).
- 5 Reimond Hood, "The Design of Rockefeller City", *Architectural Forum*, volume 56 n° 1, Gennaio (1932)
- 6 William Lamb, "The Empire State Building: The general design", *Architectural Forum*, volume 54, numero 1 (1931)
- 7 William Lamb, Op. Cit.
- 8 Harvey W. Corbett, Op. Cit.
- 9 William Lamb, Op. Cit.
- 10 Jones Bassett, "The Empire State Building. VIII Elevators", *Architectural Forum*, volume 54, n° 1, (1931)
- 11 Luke Leung, Peter Weismantle, "Burj Dubai stack effect" *CTBUH Journal* volume 6, Autunno (2007).



**Il service core nel
bilancio energetico
di un edificio alto**



Strumenti e finalità dell'analisi

Il ruolo del service core nel dibattito sugli edifici alti

L'analisi condotta fino a questo punto ha avuto come obiettivo principale quello di tracciare un ritratto del *service core* di un edificio alto, attraverso l'individuazione delle varie parti di cui è composto, la descrizione delle loro funzioni e l'individuazione delle relazioni che sussistono tra le varie parti di un grattacielo. Per la prima volta è stato ricostruito il percorso storico che ha portato alla definizione del *service core* moderno. Nonostante il *service core* sia considerato una parte fondamentale nella progettazione di un edificio alto, molti aspetti riguardanti il suo ruolo e la sua funzione sono ancora ignorati da molti progettisti e la mancanza di comunicazione tra i vari professionisti coinvolti nella sua progettazione è spesso evidente, a cominciare proprio dalle lacune terminologiche che si è tentato di colmare. Come sottolineato dal rapporto commissionato dalla Municipalità di Londra¹, il *service core* può svolgere un ruolo anche per quanto riguarda la sostenibilità generale dell'edificio alto: "in generale, più tempo si spende sul design del *service core*, più questo è efficiente dal punto di vista della sostenibilità". Il termine sostenibilità racchiude al suo interno una complessissima serie di sfumature, anche se viene troppo spesso assimilato al semplice concetto di efficienza energetica e di riduzione dei consumi d'uso di un edificio.

L'analisi delle differenti tipologie di *service core* esistenti ha permesso di sottolineare alcuni caratteri aggiuntivi conferitigli da una sua collocazione non convenzionale, in particolare grazie alla modifica dell'inerzia termica dell'involucro e alla possibilità di creare un corpo aggettante in modo da ridurre così l'incidenza della radiazione solare. Queste caratteristiche "innovative" vengono quindi utilizzate per sottolineare l'importanza di un'attenta e "moderna" progettazione al fine di migliorare i consumi energetici dell'edificio e, di conseguenza, la sua sostenibilità.

La figura che più di tutte ha contribuito alla diffusione dell'idea di una progettazione "verde" degli edifici alti, e che probabilmente ne ha colto le possibilità prima che la tematica diventasse oggetto di grande dibattito in numerosi ambienti accademici e professionali, è stato l'architetto Kenneth Yeang. Gli si può attribuire, di fatto, il merito di aver lui stesso stimolato la nascita di un dibattito costruttivo e di aver contribuito, in modo sostanziale, alla nascita di un movimento critico nei confronti delle "scatole di vetro" diffuse in tutto il mondo dal Secondo Dopoguerra in avanti. Un ulteriore merito che gli va riconosciuto è quello di aver affiancato alla produzione scientifica una abbondante e pionieristica produzione professionale di edifici

in cui sono state applicate, e in alcuni casi anticipate, le deduzioni teorizzate nella sua stessa opera saggistica. Grazie alla duplice veste di ricercatore e di architetto professionista, Yeang ha saputo diffondere una cultura della progettazione sostenibile degli edifici alti sia tramite la propria attività di divulgazione sia attraverso le numerose analisi e recensioni degli edifici da lui realmente progettati e costruiti. Nonostante siano recentemente apparsi degli studi che mettono in discussione gli effettivi risultati raggiunti dall'applicazione dei suoi studi teorici², egli viene però considerato da molti una figura di riferimento, come dimostra la sua assidua presenza tra i relatori e i "keynote speaker" di numerosissimi convegni sul tema.

L'autorevolezza accademica guadagnata in questo modo ha creato pertanto una sorta di "ipse dixit" culturale nel mondo delle analisi del comportamento energetico di un grattacielo. Ken Yeang è risultato essere un autore molto citato, talvolta anche a sproposito, e i risultati dei suoi studi sono a volte stati generalizzati troppo, astraendoli dal contesto. Questo ha fatto sì che le conclusioni raggiunte da Yeang siano state considerate vere indipendentemente da alcune fondamentali condizioni di applicazione. Inoltre, a causa dell'equazione "sostenibilità = riduzione dei consumi energetici" (incompleta, se non addirittura errata) si è data un'eccessiva importanza all'eventuale effetto di riduzione dei consumi dell'edificio alto senza condurre un'analisi adeguata su altre "componenti" della sostenibilità come, per esempio, l'*embodied energy* dei materiali impiegati.

L'analisi condotta all'inizio di questo lavoro ha permesso di tracciare un bilancio, fino al momento non disponibile a livello bibliografico, del consumo energetico di un edificio alto individuando la relativa incidenza delle varie voci di consumo. I risultati, seppur solo indicativi a causa delle numerose semplificazioni necessarie per poter gestire un elemento tanto complesso quanto un grattacielo, rappresentano comunque un dato sostanzialmente attendibile, in linea con i valori di consumo riscontrati realmente in alcuni edifici. La rilevanza di questo primo risultato è determinante nell'individuazione del ruolo che il *service core*, e gli elementi di cui è costituito, possono avere nei consumi di un grattacielo. Grazie a questo è quindi possibile studiare una serie di possibili azioni progettuali (di carattere compositivo o tecnologico) finalizzate a influenzare positivamente il fabbisogno energetico di un grattacielo. Inoltre, grazie alla simulazione effettuata su edifici di differente altezza, è stato possibile riconoscere l'importanza di questo fattore nella determinazione di tutti i parametri riscontrati. E' questa infatti l'essenza di un grattacielo, come enunciato nella definizione riportata nell'introduzione. Rispettando le attese, l'altezza influenza in maniera più che proporzionale i consumi di un grattacielo, soprattutto per quanto attiene il consumo dei trasporti verticali. E' quindi

possibile estendere il concetto del “*premium for height*” non solo alle caratteristiche strutturali, ma anche ai consumi del grattacielo: al crescere dell'altezza tutti i parametri osservati aumentano con un tasso di crescita variabile, ma generalmente superiore al semplice aumento delle dimensioni della costruzione.

La seconda parte dell'analisi introduttiva, dedicata alla quantificazione dell'*embodied energy* di un grattacielo, pone in risalto un elemento di grande rilievo: la differenza esistente tra consumi di energia ed *embodied energy*, riferiti in questo contesto a un preciso caso esaminato. Il rapporto tra le due quantità è di 1 a 40 a favore dell'*embodied energy* per un edificio di 40 piani e aumenta esponenzialmente al crescere dell'altezza secondo la “regola” del *premium for height*. Considerando degli interventi di manutenzione ordinaria e un intervento di manutenzione straordinaria dopo 30 anni di vita, il rapporto può essere considerato pari a 1 a 50. Questo significa che solo dopo 50 anni di funzionamento i consumi di energia del grattacielo arrivano grossomodo a eguagliare il quantitativo di energia impiegato dalle varie fasi della sua costruzione. L'ordine di grandezza dell'*embodied energy* spinge dunque a dover considerare attentamente ogni azione presa per ridurre il consumo di energia dell'edificio, facendo attenzione che questa non abbia ricadute negative, se non minime, sull'*embodied energy* della costruzione. Un suo aumento di pochi punti percentuali è infatti in grado di annullare risparmi, anche sensibili, nell'energia di funzionamento dell'edificio.

Per comprendere l'errore che sta alla base di un'errata percezione del problema della sostenibilità, che privilegi eccessivamente il consumo di energia durante l'uso dell'edificio e sottovaluti invece l'incidenza dell'*embodied energy*, è necessario sottolineare le importanti ricadute economiche che animano il dibattito su questo tema. Uno dei più forti impulsi che hanno agito come volano per portare l'opinione pubblica a conoscenza di questo problema è stato, più che il palesarsi dei cambiamenti climatici, il crescente costo dell'approvvigionamento energetico. Un primo impulso verso la riduzione dei consumi si ebbe a seguito della crisi petrolifera del 1974 con l'emanazione di leggi e normative mirate a migliorare l'efficienza energetica di numerosi settori dell'economia e delle attività umane tra cui, ovviamente, l'architettura. In quel periodo la coscienza ambientale era sicuramente una questione ignorata dalla maggior parte della popolazione e solo una piccola parte del mondo scientifico iniziava a riconoscere gli effetti dell'emissione di sostanze inquinanti sul clima e sull'ecosistema terrestre. In anni più recenti, anche a causa dell'acuirsi di alcuni fenomeni naturali prima sporadici e di minore entità, il dibattito sulla riduzione dei consumi (da molti indicati come primi responsabili delle mutazioni climatiche) ha sicuramente assunto una sfumatura più

disinteressata e genuina. Nonostante questo, l'esplosione dei prezzi del petrolio verificatasi a partire dalla fine del 2007 è stata nuovamente, dal punto di vista dell'efficienza energetica, un fattore molto più efficace di qualunque altra azione intrapresa in precedenza. Pur a fronte di una riduzione della crescita economica mondiale, i consumi di energia sono scesi in molti settori dell'economia fino a 10 punti percentuali, sottolineando i margini di miglioramento possibili nel campo dell'efficienza energetica. Il dato è sì frutto di una riduzione dei consumi dovuta a un calo della produzione, ma è in massima parte dovuto alla riduzione degli sprechi e delle inefficienze che un costo eccessivamente basso dell'energia ci aveva abituato a tollerare.

Appurate le ricadute economiche che la sostenibilità del costruito comporta, è necessario individuare gli elementi che generano il disequilibrio già citato nella percezione dell'importanza dei consumi rispetto all'*embodied energy* dei materiali.

Il primo fattore da tenere in considerazione è direttamente legato alla rilevanza economica del costo dell'energia sopra citato. "Cinque anni fa il termine "green premium" indicava che un edificio (sostenibile) sarebbe costato di più. Ora significa che fa guadagnare di più". Il principale elemento di marketing portato da architetti e costruttori a favore della sostenibilità è, quindi, il minor costo di gestione che l'edificio è in grado di garantire, permettendo in un breve periodo di tempo di ripagare gli extra costi necessari a realizzare un progetto "sostenibile", indicati da numerose fonti in un valore compreso tra il 10% e il 30% superiore a quelli di un grattacielo normale³. Ovviamente i vantaggi di un edificio sostenibile non si limitano al bilancio economico dell'investimento, ma la valutazione dei vantaggi della sostenibilità alla scala globale non fanno parte delle tematiche comunemente affrontate nella definizione di un programma edilizio convenzionale. Le soluzioni tecnologiche e progettuali che migliorano il comportamento energetico di un edificio alto sono infatti spesso realizzate tramite delle addizioni di materiali (isolanti, membrane ecc.) o di elementi tecnologici (brise soleil, schermature, ecc) solitamente non presenti in un edificio standard. Il maggior costo di queste soluzioni viene coperto in un periodo di tempo variabile grazie ai risparmi che esse sono in grado di produrre. E' però importante sottolineare che l'energia impiegata per la produzione del materiale o dell'elemento aggiuntivo non viene solitamente conteggiata nel "bilancio" della sostenibilità e, anche dal punto di vista economico, avviene una distorsione che porta a sottovalutarne l'importanza. Il costo dell'energia è infatti diverso a seconda delle fasce di consumo dei singoli utenti e decresce progressivamente all'aumentare della fornitura richiesta. Inoltre i sistemi fiscali vigenti annoverano il costo dell'energia, per le industrie, come un fattore della produzione, deducibile quindi dalle spese

Fascia consumo	Prezzo 2007 €/kW
Consumo < 3500 kWh annui	0,1205
Consumo < 2000 MWh annui	0,0837
Consumo > 24 GWh annui	0,072

generali. L'*embodied energy* di un elemento non trova così un adeguato riscontro sul prezzo finale del prodotto; questo risulta vantaggioso dal punto di vista economico (proprio a causa della distorsione economica descritta) e quindi, in conseguenza al risparmio sulla "bolletta" dell'energia che è in grado di produrre, "sostenibile". Se l'analisi venisse invece condotta riferendo il sistema di misurazione al reale consumo di energia necessario alla sua produzione ne risulterebbe un bilancio più realistico che porrebbe in evidenza come molte soluzioni adottate siano sostenibili solo nel significato economico, e non ambientale, del termine.

Un secondo elemento importante è l'effetto dirompente che la questione



Tab. 10.01 - I diversi prezzi dell'energia elettrica pagati dagli utenti a seconda della fascia di consumo contribuiscono a creare una percezione distorta del tema della sostenibilità, privilegiando l'importanza dei consumi rispetto all'*embodied energy*.

Img. 10.01 - Il Bahrain World Trade Center è l'unico esempio esistente di grattacielo che integri dei sistemi di generazione eolica di grandi dimensioni. I generatori, il cui impiego è stato previsto fin dalle fasi iniziali del progetto sfruttano il vento incanalato dalle due "ali" dell'edificio.

della sostenibilità ha sull'opinione pubblica. L'avversione con cui viene spesso accolta da parte dell'opinione pubblica (soprattutto europea) la notizia del progetto di un grattacielo, spinge i progettisti e i *developer* a enfatizzare alcuni aspetti dell'opera che possano mitigare il giudizio della cittadinanza riducendo gli ostacoli allo sviluppo del progetto. Il sistema più efficace dal punto di vista del rapporto costi/benefici consiste nell'adozione di soluzioni appariscenti atte a ridurre il fabbisogno di energia della costruzione. L'idea che si cerca di trasmettere è quindi quella di un edificio sostenibile che rispecchi l'immagine di un'azienda sensibile alle problematiche ambientali. Il caso più emblematico è dato dalla proposta di applicazione di pannelli fotovoltaici o di generatori eolici che viene solitamente presentata negli elaborati iniziali di un gran numero di uffici in modo da fornire, da subito, un'immagine *green* del progetto, salvo poi venir eliminati a mano a mano che si superano gli scogli burocratici che precedono l'inizio dei lavori. A riprova di questo fatto è l'esistenza, a oggi, di un unico edificio dotato, in maniera peraltro abbastanza efficace, di generatori eolici: il Bahrein World Trade Center.

Influenza del service core sul bilancio energetico

Sono numerosi gli studi, basati soprattutto su assunzioni teoriche, che hanno provato a descrivere il ruolo che il *service core* svolge nel bilancio energetico di un edificio alto. Tra i vari ricercatori che si sono cimentati sul tema il più noto è sicuramente, come detto, Ken Yeang⁴⁵. Gli autori degli scritti analizzati, che valutano le ricadute sui consumi energetici derivanti da una progettazione non convenzionale del *service core*, individuando in particolare due possibili configurazioni:

! *Service core posizionati all'esterno dell'edificio;*

! *Service core posizionati sul perimetro dell'edificio.*

Gli effetti principali oggetto delle analisi sono: l'ombreggiamento che il *service core* crea sull'edificio nel primo caso; nel secondo caso invece viene valutata l'inerzia termica che le sue superfici opache e pesanti possono avere, facendo così funzionare il *service core* come un buffer termico che ritardi l'ingresso del calore all'interno dell'edificio. Tali analisi sono condotte applicando principi generali di fisica e di termodinamica che sono in grado di descrivere, almeno in linea teorica, gli effetti prodotti dall'azione intrapresa ma rischiano di perdere di vista il problema generale nella sua applicazione su un edificio.

Alcuni studi affrontano invece l'analisi avvalendosi di simulazioni realizzate al computer che sono in grado di controllare in modo molto più dettagliato un maggior numero di aspetti. La simulazione digitale permette di verificare

il comportamento di un edificio a seconda di varie configurazioni planivolumetriche, individuando così gli equilibri che, al variare di alcuni parametri, si vengono a creare.

Uno studio condotto sugli edifici di Ken Yeang⁶, basato su delle simulazioni digitali, ha permesso di stimare il risparmio di energia derivante dalle soluzioni adottate dall'architetto malaysiano. La simulazione ha valutato l'effetto delle strutture ombreggianti realizzate sull'edificio Menara Umno, delle skycourts sull'edificio Mesiniaga e del posizionamento del *service core* sull'IBM Plaza. Concentrando l'attenzione sull'analisi del *core*, lo studio rileva un consumo totale di energia compreso tra il 92,2% e l'86,9% di quello di un edificio convenzionale a seconda della soluzione adottata e un consumo di picco per il solo raffrescamento compreso tra il 92,1% e l'81,5%. La letteratura si compone inoltre di studi che analizzano il consumo energetico dovuto alle singole componenti del *service core*, in particolare per quanto riguarda gli ascensori e i sistemi di ventilazione.

Lo studio di un sistema complesso prevede solitamente un'analisi "dal più grande al più piccolo" attraverso la sistematica trattazione degli elementi di cui è composto e una loro successiva suddivisione in sotto sistemi. Contestualizzando, l'analisi del bilancio energetico di un edificio alto e del ruolo che il *service core* assume dovrebbe prevedere innanzitutto di analizzare il macro-elemento "*service core*" nel suo complesso e nei rapporti che stabilisce con il resto dell'edificio, scomponendolo poi nei sotto-sistemi di cui è formato e procedendo quindi da un discorso generale a un'analisi più dettagliata.

I limiti dell'analisi tradizionale e la proposta metodologica.

Tale metodo di analisi risulta però poco adatto allo studio del *service core* di un edificio alto. La letteratura analizzata è infatti carente di un'approfondita analisi delle funzioni che esso svolge, oltre che affetta da una sua eccessiva semplificazione che lo astrae dal contesto in cui è collocato⁷. Nelle analisi che puntano a descrivere il suo ruolo sui consumi energetici dell'edificio, il *service core* viene a volte trattato come un "oggetto" statico che può essere liberamente spostato all'interno dell'edificio senza che questa operazione causi delle modifiche nella sua funzione o nel consumo stesso di energia dei vari elementi tecnici in esso racchiusi. La mancata conoscenza delle sue funzioni porta infatti a sottovalutare alcuni effetti negativi come, per esempio, la maggiore lunghezza dei condotti di ventilazione derivante da un posizionamento esterno all'edificio dei cavedi verticali o il maggior perimetro dell'edificio e le conseguenti ricadute negative prodotte sui consumi energetici.

Oltre a questo, la più importante carenza delle analisi presenti nella letteratura analizzata è data dalla mancata valutazione delle ricadute che le

modifiche progettuali o tecnologiche proposte hanno sull'*embodied energy* dell'edificio. Questo argomento è finora stato affrontato in maniera molto marginale e, soprattutto, è stato raramente applicato agli edifici alti, soprattutto all'analisi delle conseguenze derivanti da una disposizione non convenzionale del *service core*.

Al fine di comprendere al meglio il funzionamento del *service core* e di poterne quindi valutare le ricadute energetiche sull'edificio, si propone un metodo di analisi che approfondisca per primi i sotto-elementi da cui è formato. In secondo luogo, vengono analizzate le conseguenze sul bilancio energetico che la somma dei vari elementi ha in relazione ad alcune caratteristiche tecnologiche, al suo posizionamento o come conseguenza di altre condizioni "imposte" dall'edificio.

L'analisi parte dalla determinazione di un presupposto importante, ovvero il ruolo che il coefficiente di efficienza della progettazione (NRA / GFA) ha sull'edificio, in particolare sulla sua *embodied energy*. In base a questo rapporto, e all'influenza che le varie voci hanno su di esso, viene calibrata l'*embodied energy* dei singoli sotto-elementi. L'efficacia delle soluzioni proposte viene valutata in base alla loro capacità di migliorare il rapporto di efficienza della progettazione.

Gli oggetti della prima fase di analisi sono costituiti dai sotto elementi del *service core*, così come individuati in precedenza, che vengono studiati analizzando separatamente il contributo all'*embodied energy* dell'edificio e ai suoi consumi in fase d'uso:

! Core: viene analizzato prevalentemente in base al ruolo che svolge nell'embodied energy di un edificio alto. Il primo stadio dell'analisi esamina i principali schemi strutturali e come la scelta di un sistema interno basato sulla presenza di un core influenzi l'embodied energy di un grattacielo. Successivamente, l'analisi si concentra sulle diverse possibilità di utilizzo dei due materiali strutturali prevalenti: l'acciaio e il calcestruzzo.

! Services: i principali servizi del service core sono analizzati in funzione dello spazio che essi occupano all'interno dell'edificio, riportando l'attenzione al ruolo fondamentale svolto dal rapporto NRA / GFA. Vengono individuate le varie soluzioni tecnologiche esistenti per soddisfare ogni specifica esigenza e il loro effetto sull'utilizzo dello spazio interno. I services sono inoltre responsabili di buona parte del consumo energetico durante l'uso dell'edificio, sia in maniera diretta, attraverso l'assorbimento di energia necessario al loro funzionamento, sia in maniera indiretta, tramite il sovraccarico dato al sistema di condizionamento a causa dei carichi termici apportati.

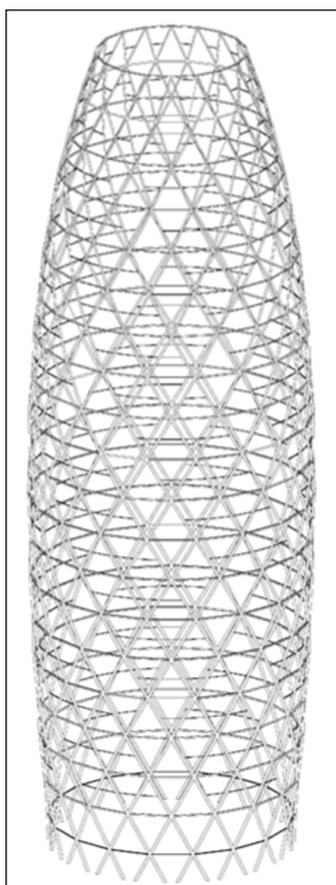
Considerando i dati relativi al consumo energetico di un edificio alto è facile comprendere l'opinione comune che vede nei grattacieli una tipologia edilizia

ad alto consumo di energia. L'edificio alto, come si è visto, ha bisogno di compensare i carichi termici che si sviluppano al suo interno tramite il ricorso alla ventilazione forzata e al condizionamento d'aria, spesso anche durante i periodi più freddi dell'anno. Questa necessità è però dovuta alla relativa inefficienza delle apparecchiature e dei metodi di illuminazione utilizzate. Se fosse possibile ridurre i carichi interni di un grattacielo migliorando l'efficienza di funzionamento dell'illuminazione artificiale e delle apparecchiature interne (computer, stampanti, ecc.) si potrebbero tagliare immediatamente i consumi riducendo inoltre la necessità di ricorrere alla climatizzazione e alla ventilazione artificiale apportando un'ulteriore riduzione del fabbisogno energetico del grattacielo.

Sono molti i campi di applicazione della Ricerca scientifica finalizzata a ridurre i consumi, sia per quanto riguarda le apparecchiature interne utilizzate dagli utenti, sia per quanto riguarda le varie unità tecnologiche del grattacielo, il loro funzionamento e le componenti di cui sono costituite. Moltissimi studiosi di fisica e meccanica sono impegnati per migliorare l'efficienza dei singoli elementi e sotto-elementi degli impianti presenti all'interno di un edificio. Tuttavia, nell'impossibilità di creare un'analisi esaustiva dei progressi raggiunti (a causa della grande quantità degli sforzi in corso da parte di aziende, ricercatori e produttori), le fasi successive di questo studio approfondiranno esclusivamente l'analisi delle peculiarità del *service core* di un edificio alto, sottolineando le tecniche disponibili per ridurre il consumo energetico delle sue parti, esclusivamente in relazione alle peculiarità di un grattacielo. Ove necessario e in forma sintetica, verranno fatti dei richiami a tecnologie di più ampia applicazione quando questi si riveleranno utili per contestualizzare dei fenomeni particolari dei grattacieli.

La seconda fase dell'analisi ha studiato il comportamento del *service core* come aggregato di elementi, valutando l'influenza sull'edificio di una sua progettazione non convenzionale, ricalibrando il consumo delle varie parti di cui è costituito. Questa parte della ricerca si basa sull'interpolazione dei dati provenienti dalla prima parte, valutandone l'incidenza sui consumi e sull'*embodied energy* dell'edificio di riferimento. Ove necessario, la simulazione digitale di un edificio tipo sarà eseguita utilizzando il software Design Builder, componente grafico del software di simulazione energetica Energy Plus.

I dati ottenuti tramite la simulazione vanno però adattati alle caratteristiche specifiche di un grattacielo, non essendo Energy Plus un software concepito per lo studio di questa tipologia edilizia. In questo software manca infatti, per esempio, una sezione dedicata agli ascensori che, come dimostrato in



Img. 10.02 - Grazie alla struttura a maglia triangolare denominata *diagrid* e alla forma circolare della pianta, la struttura portante del 30 St. Mary Axe di Foster ha consentito un risparmio di materiale del 20% circa rispetto a schemi statici più convenzionali.

precedenza, hanno un consumo di energia che può arrivare al 10% del totale dell'edificio e incidendo inoltre sui consumi per la climatizzazione a causa dei carichi termici generati.

Il metodo di reperimento dei dati

L'obiettivo dell'analisi che verrà illustrata nel prossimo capitolo è di sondare l'equilibrio che condiziona i consumi energetici del *service core* di un edificio alto, i fattori che ne determinano la sua *embodied energy* e gli effetti che una sua progettazione non convenzionale può produrre sull'edificio, sia in termini di consumi energetici d'uso che di costruzione.

Per quanto il progetto di un grattacielo possa essere (e sia effettivamente stato) standardizzato, ogni costruzione deve comunque essere considerata come un fabbricato unico e non ripetibile, a causa del numero di variabili interne ed esterne all'edificio che ne possono influenzare la forma, il funzionamento e il comportamento energetico. Riconoscendo questa particolarità è stato comunque necessario procedere a delle generalizzazioni per restringere il numero delle analisi a un casistica limitata e controllabile.

Una delle difficoltà maggiori è stata la creazione di una base di dati soddisfacente per descrivere l'incidenza delle singole voci di consumo di un edificio reale. Nell'impossibilità di reperire i dati originali riferiti a un vero edificio (a causa delle poche informazioni che i vari soggetti interessati sono disposti a rilasciare) è stato necessario riferirsi a un caso studio di cui si conoscessero, almeno parzialmente, i valori delle principali voci di consumo e di costruzione su cui applicare, successivamente, i risultati generali derivanti dall'analisi condotta all'inizio della ricerca. La scelta è ricaduta sulla Swiss Re Tower realizzata a Londra da Norman Foster. L'edificio è noto e ampiamente analizzato per l'attenzione progettuale che è stata dedicata ad alcuni aspetti dell'edificio che hanno consentito una riduzione sia del consumo di energia che dell'*embodied energy* della costruzione. La caratteristica principale dal punto di vista della riduzione dei consumi d'uso è data dall'involucro a doppia pelle e dall'uso, già descritto, della ventilazione naturale. La riduzione dell'*embodied energy* è stata invece possibile grazie all'utilizzo di una struttura a *diagrid* circolare che risulta essere la soluzione strutturale più efficiente disponibile al momento. Infatti, in un sistema tradizionale "le diagonali di controventamento "vogliono" partecipare al trasferimento dei carichi verticali mentre le colonne "vogliono" contribuire alla resistenza ai carichi orizzontali. In un sistema a *diagrid* le due funzioni sono unite: le colonne e le diagonali sono un unico elemento".

Nonostante la quantità di analisi e studi disponibili è stato anche in questo caso difficile reperire un dato univoco sui consumi energetici dell'edificio:

secondo Moran Hilson, l'ingegnere meccanico che ha seguito il progetto, l'edificio consuma 215 kWh m²/anno mentre secondo Foster il consumo è di 140 kWh m²/anno; tuttavia, un dirigente di Arup intervistato espressamente ha espresso dei forti dubbi sulla reale efficienza energetica dell'edificio, a causa dell'insorgere di aspetti non adeguatamente valutati in fase progettuale. Un dato medio di 177 kWh m²/anno può essere comunque ritenuto plausibile per un grattacielo concepito con l'esplicito intento di limitare i propri consumi di energia.

L'analisi presenta quindi la quantificazione dell'incidenza dei singoli elementi che compongono il *service core* sui consumi e sull'*embodied energy* dell'edificio. I dati utilizzati provengono dal caso studio della Swiss Re Tower e sono stati verificati, di volta in volta, in base ai valori eventualmente disponibili in letteratura.

- ¹ Will Pank, Herbert Girardet, Greg Cox, *Tall Buildings and sustainability*, (London: Faber Maunsell, 2002)
- ² Nirmal Kishnani, *Climate buildings and occupant Expectation*, (Curting University of Technology: 2002, PhD Thesis)
- ³ Alain Montpellier, Brent Rogers, "The Business Case for Sustainable Office Design", *Urban Land*, Novembre/Dicembre, (2006)
- ⁴ Ken Yeang, "Designing the green Skyscraper", *Habitat Intl.* volume 15, n°3 (1991)
- ⁵ Ken Yeang, *Service Cores*. (Chichester: Wiley Academy, 2006)
- ⁶ Puteri Shireen Jahnkassim, Kenneth Ip, "Linking bioclimatic theory and environmental performance in its climatic and cultural context – an analysis into the tropical highrises of Ken Yeang", Atti del convegno internazionale: *PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006*, a cura di Compagnon A., et.al., (Ginevra: Plea, 2006)
- ⁷ Aldomar Pedrini, *Integration of low energy strategies to early stages of design process of office buildings in warm climate*. (University of Queensland: 2003, PhD Thesis)



Il service core e l'embodied energy di un grattacielo

L'efficienza d'uso dello spazio: NRA / GFA

Il *service core* è stato descritto come uno spazio servente, necessario per la fruizione e l'esistenza stessa delle superfici costruite per rispondere alle esigenze per cui il grattacielo è stato realizzato. Esso è pertanto il risultato della sottrazione della NRA (ovvero la superficie affittabile realizzata) dalla GFA, ovvero la superficie lorda dell'edificio. La superficie affittabile, a dire il vero, è data a sua volta dalla sottrazione tra la NUA (la Net Usable Area) e l'insieme dei corridoi e delle aree comuni di distribuzione e degli elementi della struttura portante eventualmente presenti. Tuttavia, poiché lo scopo principale della costruzione di un grattacielo è la produzione di una rendita economica, si può considerare in questa fase della ricerca che i corridoi e le aree comuni facciano parte degli spazi serventi e, quindi, del *service core*. Questa semplificazione è giustificata dal fatto che gli spazi serventi, non potendo per definizione essere utilizzati per la destinazione d'uso per la quale è stato costruito l'edificio, vanno a creare, con la loro presenza, un "premium for height" dello spazio utilizzabile.

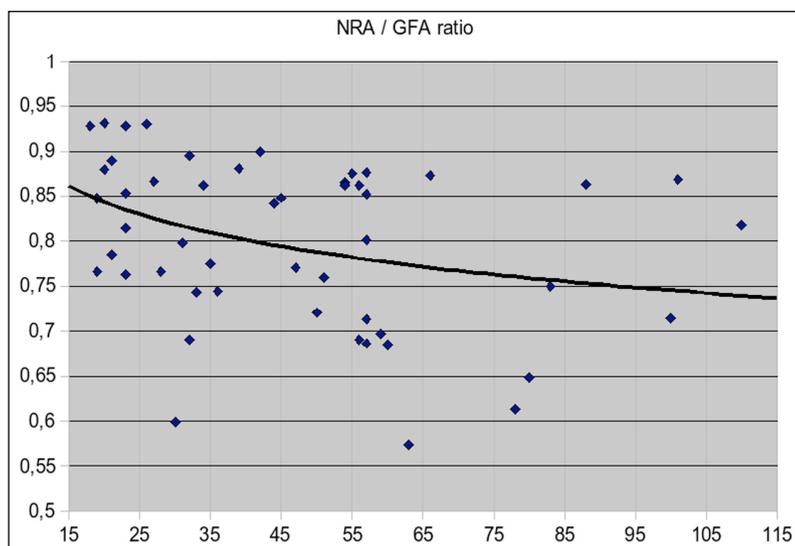
Il rapporto NRA/GFA varia ovviamente da edificio a edificio ed è influenzato da alcuni parametri quali:

- ! *Criteri di progettazione;*
- ! *Sistema di organizzazione degli ascensori;*
- ! *Numero e dimensione delle vie di fuga;*
- ! *Tipologia dell'impianto di ventilazione;*
- ! *Dimensione dei servizi igienici, degli spazi accessori e dei locali di servizi.*

Prima di analizzare l'incidenza delle singole voci e le possibilità per ridurre l'ingombro in termini di spazio, è necessario approfondire maggiormente la dipendenza dell'efficienza della progettazione dall'altezza dell'edificio, all'aumentare della quale cresce infatti l'ingombro delle varie componenti di collegamento verticale e, in particolare, il numero di ascensori.

Analizzando il rapporto di efficienza di vari edifici alti adibiti prevalentemente a uffici è infatti possibile individuare una progressiva diminuzione percentuale della superficie utile a discapito di un aumento di ingombro del *service core*. Per la quantificazione di questo rapporto, sono stati raccolti i dati riferiti a 60 grattacieli aventi un'altezza minima di 18 piani. Il campione analizzato rappresenta una percentuale marginale degli edifici medio-bassi mentre è basato sull'11% della popolazione di costruzioni superiori a 55 piani.

Il rapporto di efficienza medio è molto elevato per gli edifici di modesta altezza a causa della limitata incidenza degli ascensori e delle strutture portanti, ma diminuisce rapidamente già prima dei 30 piani e prosegue poi con andamento decrescente a tasso decrescente. La rapida riduzione nel rapporto NRA / GFA che si percepisce negli edifici di altezza compresa tra 20 e 30 piani è dovuta al fatto che, per altezze superiori ai 18 - 20 piani, si preferisce dotare l'edificio di 2 batterie di ascensori per migliorare il servizio di trasporto offerto agli utenti: in questo intervallo di altezze iniziano pertanto a esservi edifici dotati prevalentemente di due gruppi di ascensori, con una conseguente drastica riduzione del rapporto NRA / GFA. Applicando questo principio anche per gli edifici più alti ci si potrebbe però attendere una riduzione maggiore rispetto a quella effettivamente rilevata dai dati analizzati. E' però importante considerare due accorgimenti che vengono



N° di piani dell'edificio	Rapporto NRA / GFA medio	Annotazioni
19-29	0,85	Brusco calo dell'efficienza: gli edifici più bassi richiedono una sola batteria di ascensori mentre gli edifici più alti ne richiedono due, riducendo l'efficienza.
30-39	0,78	
40-49	0,84	Edifici "standard": L'efficienza diminuisce al crescere dell'altezza. Nessuna strategia per l'incremento dell'efficienza (sky lobby, double decker ecc) è economicamente o funzionalmente sostenibile.
50-59	0,79	
60-69	0,71	
70-79	0,61	
80-89	0,75	L'efficienza teorica decresce ma quella degli edifici reali migliora se paragonata a edifici più bassi a causa della forma piramidale di molti super grattacieli e dell'uso di sky lobby, double decker e sistemi strutturali complessi.
90-99	Dati non disponibili	
100-110	0,8	

Img. 11.01 e Tab. 11.01 - Il rapporto di efficienza NRA / GFA varia in funzione dell'altezza dell'edificio.

Il grafico rappresenta i valori del rapporto NRA / GFA rilevati in un campione di 60 grattacieli realmente costruiti. La grande variabilità dei dati è dovuta alle possibili tecniche di mitigazione adottate, dalla forma degli edifici e dalle prestazioni richieste al servizio di trasporto verticale in funzione di variabili culturali, di occupazione dello spazio e del mercato immobiliare. E' comunque riscontrabile un andamento tendenziale di progressiva riduzione del rapporto NRA / GFA. La tabella illustra, per gruppi di altezze, il coefficiente tipico riscontrato. Le fluttuazioni del rapporto sono dovute all'adozione di alcune strategie di mitigazione che migliorano, negli edifici più alti, l'uso dello spazio (sky lobby, double decker, ecc.) (11.01 D.T.) (11.01 D.T.)

adottati, nei grattacieli più alti, al fine di migliorare l'efficienza di utilizzo dello spazio: l'utilizzo delle *sky lobby* e di ascensori *double decker*. Inoltre, osservando gli edifici più alti attualmente esistenti, è facile notare come molti di essi abbiano una forma piramidale o a questa assimilabile (John Hancock Center, Sears Tower, Burj Dubai Building, Petronas Tower) che, come uno studio giapponese ha dimostrato¹, sono caratterizzate da un più vantaggioso rapporto NRA / GFA.

Rispetto a una linea teorica in cui ogni unità di superficie costruita (GFA) può essere destinata agli scopi per i quali l'edificio è stato realizzato, si può dunque evidenziare come la superficie netta effettivamente utilizzabile (NRA) diminuisca progressivamente a discapito di un aumento degli spazi serventi ascrivibili al *service core*.

Un ulteriore fattore da considerare che riguarda il rapporto tra NRA e GFA alla macro-scala dell'edificio è dato dalla sua progressiva diminuzione a mano a mano che ci si avvicina alla sommità dell'edificio. Il *service core* infatti "alimenta" l'edificio trasportando verticalmente persone, merci, fluidi, elettricità ecc. dal piano stradale ai vari livelli della costruzione. A ogni piano diminuisce di conseguenza il numero di servizi che attraversano verticalmente l'edificio a causa della progressiva riduzione dei livelli restanti da servire. Inoltre, semplificando lo schema statico di un grattacielo, è possibile paragonarlo a una mensola incastrata al terreno che deve resistere alle forze verticali generate dal suo stesso peso e alle forze orizzontali dovute al vento e ai sismi. La dimensione delle componenti strutturali è pertanto maggiore ai piani bassi dell'edificio (sui quali grava

Piano	GFA m ²	NRA m ²	NRA/GFA %	Piano	GFA m ²	NRA m ²	NRA/GFA %
2	3344	2968	88,8	27	2614	2245	85,9
3	2621	2211	84,4	28	2614	2245	85,9
4	2625	2228	84,9	29	2614	2251	86,1
5	2625	2228	84,9	30	2575	2183	84,8
6	2625	2228	84,9	31	2575	2180	84,7
7	2625	2228	84,9	32	2575	2292	89,0
8	2625	2228	84,9	33	2575	2292	89,0
9	2578	2180	84,6	34	2575	2292	89,0
10	2614	2198	84,1	35	2495	2212	88,7
11	2614	2198	84,1	36	2495	2212	88,7
12	2614	2198	84,1	37	2495	2212	88,7
13	2614	2198	84,1	38	2495	2212	88,7
14	2614	2198	84,1	39	2495	2212	88,7
15	2614	2198	84,1	40	2495	2213	88,7
16	2614	2201	84,2	41	2495	2213	88,7
17	2614	2184	83,6	42	2495	2153	86,3
18	2614	2184	83,6	43	2495	2270	91,0
19	2614	2237	85,6	44	2495	2270	91,0
20	2614	2245	85,9	45	2458	2233	90,8
21	2614	2245	85,9	46	2458	2233	90,8
22	2614	2245	85,9	47	2244	2047	91,2
23	2614	2245	85,9	48	2244	2047	91,2
24	2614	2245	85,9	49	2083	1886	90,5
25	2614	2245	85,9	50	2083	1876	90,1
26	2614	2245	85,9	Media			86,8

Tab. 11.02 - A differenza dell'efficienza generale dell'edificio (riassunta dalla tabella della pagina precedente), l'efficienza di ogni singolo piano aumenta al crescere dell'altezza dell'edificio. A causa della progressiva eliminazione dei vani di corsa di alcuni ascensori e della generale riduzione degli impianti tecnologici infatti, la dimensione del *service core* si riduce progressivamente, liberando spazio alle attività a cui il grattacielo è destinato. Nelle torri dalla forma regolare, quelle che conservano cioè la medesima superficie di solaio per tutta l'altezza dell'edificio, la riduzione di dimensione del *service core* rende possibile, ai piani alti, di creare ampie superfici commerciabili, che beneficiano di un alto valore di mercato grazie alla vista panoramica, all'abbondanza di luce e alla distanza dai rumori della strada. (Fonte: SOM, Elaborazione D.T.)

Tab. 11.03 - La riduzione dell'efficienza d'uso dello spazio gioca un ruolo negativo sull'*embodied energy*, aumentando il valore specifico per unità di superficie. Ogni unità di superficie effettivamente utilizzabile deve infatti farsi carico anche dell'*embodied energy* degli spazi serventi del *service core*, necessari alla sua fruizione. (D.T.)

Altezza piani	Embodied energy totale esclusa struttura verticale GWh	Embodied energy Struttura GWh	Embodied energy totale edificio	NRA / GFA	Embodied energy MWh / m ² utile
40	12*40= 480	21,75	502	0,84	7,7
70	12*70= 840	182,265	1.022	0,61	12,3

l'intero peso della costruzione e dove il momento che tende a ribaltare la struttura è massimo) e si riduce progressivamente verso la sommità.

Analizzando piano per piano i dati di efficienza di un grattacielo è pertanto possibile individuare chiaramente l'effetto descritto. Inoltre, si può notare in corrispondenza di alcuni livelli (nel caso analizzato i piani 17-18;30-31;42) una notevole riduzione dell'efficienza d'uso dovuta alla presenza delle sale macchine degli ascensori. L'ingombro del *service core* ai livelli più bassi di un grattacielo può, di fatto, costituire un limite al suo sviluppo verticale qualora le dimensioni esterne dell'edificio debbano essere comprese entro limiti prestabiliti.

La realizzazione degli spazi serventi aggrava quindi il bilancio dell'*embodied energy* delle aree utilizzabili di una quota proporzionale all'altezza dell'edificio. A causa di questo effetto un edificio alto risulta sensibilmente penalizzato rispetto a un edificio più basso, in quanto ogni unità di superficie utilizzabile deve farsi carico, oltre che dell'*embodied energy* dovuta alla struttura portante, anche di quella causata dalla riduzione di efficienza di utilizzo dello spazio.

Compreso il ruolo che il rapporto NRA / GFA gioca nella determinazione dell'*embodied energy* dell'edificio, è possibile analizzare l'influenza che i singoli elementi hanno della determinazione della superficie del *service core* e, di conseguenza, la loro incidenza sul rapporto di efficienza.

I criteri di progettazione

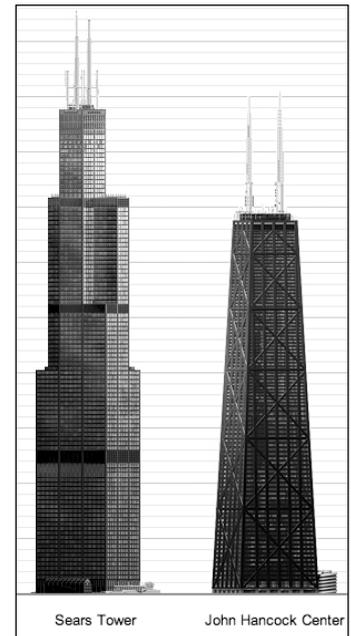
Uno dei fattori che incide maggiormente sull'utilizzo dello spazio, a prescindere dal necessario ingombro dei servizi essenziali, è dovuto alle scelte di carattere distributivo compiute dal progettista. Negli interventi meno legati a una logica puramente speculativa, in cui l'ottimizzazione della rendita economica porta alla configurazione distributiva più efficiente, l'abbondanza di spazi comuni e accessori viene considerata un elemento di pregio della costruzione. Questi spazi, non essendo direttamente utilizzati come superficie "produttiva" dell'edificio, incidono sulla sua *embodied energy*. Nonostante questo, i recenti *trend* progettuali puntano a un aumento del valore dell'intervento edilizio dotando l'edificio di aree comuni destinate a incontri lavorativi informali, terrazzamenti, giardini sopraelevati² e altre aree non direttamente funzionali all'attività lavorativa. L'adozione di questi spazi accessori, oltre a valorizzare la costruzione migliorandone l'immagine

architettonica, gioca un ruolo positivo sugli individui: la qualità percepita degli spazi interni porta benefici anche sensibili in termini di aumento della produttività dei lavoratori³ ed è pertanto in grado di giustificare ampiamente gli extra-costi necessari alla realizzazione di queste superfici "accessorie". Dal punto di vista della sostenibilità ambientale però, prescindendo dai risparmi energetici potenzialmente ottenibili su ventilazione e raffrescamento, la creazione di questi spazi comporta un aumento della superficie costruita del grattacielo riducendo il rapporto NRA / GFA. L'altezza interpiano è un altro parametro che, pur essendo influenzato anche da questioni tecniche e normative, dipende in larga misura dalle caratteristiche della progettazione. Questo parametro, moltiplicato per un numero consistente di piani, influenza notevolmente la volumetria totale dell'edificio avendo inoltre un impatto notevole sul sistema strutturale del grattacielo e sulla superficie dell'involucro.

Il sistema di organizzazione degli ascensori

Le apparecchiature per il trasporto verticale, nonostante siano costituite da parti prodotte in serie, devono essere considerate, più che dei prodotti, dei "sistemi ingegnerizzati"⁴. Ognuno di essi è infatti un sistema unico, la cui configurazione finale rispetta l'equilibrio creatosi tra l'ingegnere dei trasporti e gli altri progettisti. Il sistema di ascensori viene calibrato in funzione di numerosi parametri che descrivono le caratteristiche fisiche dell'edificio (altezza, numero di piani, occupazione stimata, tipologia di traffico, ecc) e le aspettative dell'utente o del *developer* nei confronti della qualità servizio di ascensori (espresse in tempo di percorrenza, intervallo, velocità e capacità). A seconda di questi parametri, un edificio può essere servito con varie configurazioni di ascensori⁵. Mentre per gli edifici di altezza medio-bassa le possibili variazioni riguardano sostanzialmente solo la dimensione e la velocità delle cabine, negli edifici più alti le opzioni a disposizione si moltiplicano notevolmente.

L'obiettivo da perseguire per la configurazione di un sistema ottimale è quello di garantire prestazioni eccellenti e, in contemporanea, la minore occupazione di spazio possibile⁶. Il livello di comfort degli utenti (dovuto alla velocità della cabina e all'intensità delle accelerazioni e decelerazioni) è il fattore che limita le prestazioni della singola cabina e che impone, qualora il servizio offerto non sia sufficiente, ad aumentare il numero di ascensori presenti nell'edificio. Una batteria di ascensori, composta generalmente da 6-8 cabine, fornisce un servizio adeguato per grattacieli fino a 18-25 piani. In quelli più alti, anziché aumentare la corsa verticale delle cabine (che ne ridurrebbe l'efficienza di trasporto), viene utilizzato un secondo *bank* che serve i piani più alti bypassando quelli serviti dall'altra batteria di ascensori.



Img. 11.02 - Una limitata altezza interpiano del gioca un ruolo rilevante sull'embodied energy dell'edificio rispetto. Il John Hancock Center e la Sears Tower, alti rispettivamente 100 e 110 piani, hanno in realtà oltre 99 metri di differenza, dovuti a una minore altezza libera ma, soprattutto, a un minore spessore delle strutture orizzontali dei solai.

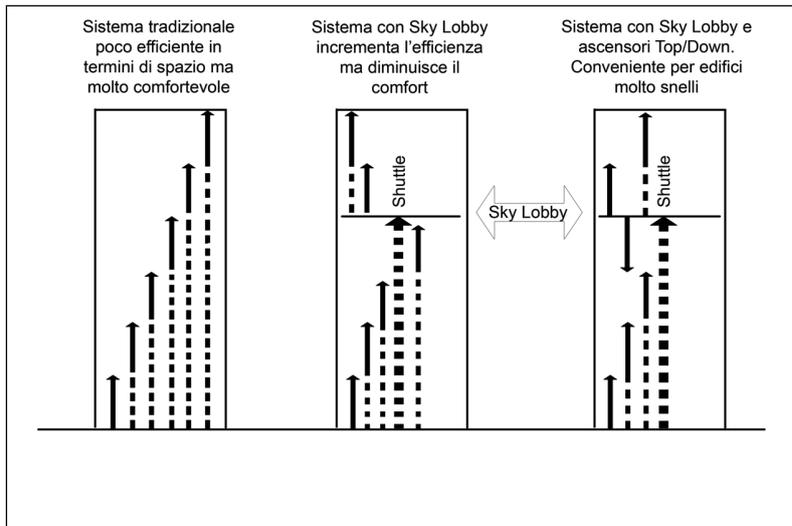
Il sistema procede quindi analogamente al crescere dell'edificio, con una batteria aggiuntiva per ogni gruppo di 15-20 piani; quando un *bank* di ascensori raggiunge il livello più alto di esercizio, i vani corsa vengono interrotti, liberando così spazio ai piani superiori. Il limite di efficacia di tale sistema è fissato in circa 70 piani d'altezza, corrispondenti solitamente a 4 *bank* di cabine; oltre questo limite, il numero di vani corsa ai livelli più bassi ridurrebbe eccessivamente la superficie utilizzabile rendendo l'edificio poco efficiente.

Per i grattacieli più alti, sono state sviluppate delle soluzioni tecnologiche e organizzative finalizzate a salvaguardare lo spazio interno⁷:

! I "double decker", relativamente poco utilizzati, sono ascensori dotati di due cabine sovrapposte, unite tra loro e azionate da un unico motore, destinate a servire piani alternati dell'edificio⁸. La hall di ingresso è dotata di un mezzanino dal quale accedere al livello superiore della cabina; gli utenti si suddividono in passeggeri destinati ai piani "pari" e passeggeri destinati ai quelli "dispari". Grazie a questo sistema, l'ascensore dimezza all'incirca il numero delle fermate (per esempio, i passeggeri destinati al 23° e 24° piano renderanno necessaria una sola fermata dell'ascensore, anziché due). In questo modo viene aumentata la capacità di trasporto di ogni vano corsa, rendendo necessari meno ascensori.

! La sky lobby è un sistema organizzativo degli ascensori utilizzato per edifici oltre i 60-70 piani. Consiste nell'utilizzare delle navette che trasportano gli utenti dalla hall principale a un piano sopraelevato (la sky lobby, solitamente posta a " dell'altezza dell'edificio); da questa, gli utenti raggiungono i piani di destinazione cambiando ascensore. L'efficienza del sistema consiste nel risparmiare una consistente quantità di spazio ai piani bassi dell'edificio, sostituendo i vani di corsa degli ascensori destinati ai livelli più alti con un ridotto numero di ascensori-navetta.

! Il sistema Top/Down è una particolare configurazione del sistema a sky lobby che consiste nel servire, a partire appunto da una sky lobby, un gruppo di piani posti al di sotto di essa. Con tale configurazione gli utenti salgono alla sky lobby tramite un servizio espresso e accedono ai piani di destinazione finale scendendo tramite una apposita batteria di ascensori. Il sistema è in grado ottimizzare l'efficienza di un edificio, riducendo lo spazio occupato dai vani di corsa in maniera ancora più efficiente rispetto a una sky lobby normale. Gli aspetti negativi di questo sistema, utilizzato in pochissimi esempi tra i quali il Burj Dubai⁹, consistono in una sensazione di dis-comfort da parte degli utenti che vengono fatti salire per poi scendere nuovamente. E' importante sottolineare che questa configurazione produce degli effetti negativi solo in termini psicologici su un ristretto numero di utenti (ovvero sui



Img. 11.03 - Le diverse configurazioni del sistema di ascensori sono in grado di consentire un notevole risparmio di spazio dedicato al service core. Il comfort degli utenti è però penalizzato in quanto quelli direzionati ai piani più alti dell'edificio sopra la sky lobby dovranno cambiare ascensore anziché accedervi con un sistema diretto.

soli occupanti dei piani raggiunti dal bank discendente): il tempo medio di viaggio è, in realtà, paragonabile a quello di un sistema a sky lobby convenzionale.

Nel corso degli anni '70 è stato sviluppato un sistema innovativo di gestione delle chiamate, l'Hall Call Destination Dispatching System (HCDDS). L'applicazione, che consiste in un sistema "software" e non in un'innovazione distributiva o meccanica, consente un'ottimizzazione delle prestazioni di ogni singola cabina. La differenza sostanziale consiste nel fatto che l'utente seleziona il piano di destinazione utilizzando un pannello di comando posto al di fuori delle cabine, invece che all'interno come avviene di solito. Il sistema, confrontata la richiesta con quelle degli utenti precedentemente prenotatisi, indirizza il passeggero a una determinata cabina ottimizzando l'assegnazione in base alla sua destinazione finale. L'obiettivo del sistema HCDDS è quello di far viaggiare nello stesso ascensore i passeggeri destinati agli stessi piani, riducendo così il numero medio di fermate. Il sistema, raffinosi negli anni grazie alle accresciute capacità dei sistemi di calcolo, permette di ottimizzare il tempo che un ascensore impiega a compiere un ciclo di viaggio completo, riportando le cabine nella *hall* nel minor tempo possibile.

Nel 2001 è stata introdotta un'evoluzione del HCDDS: sviluppando un algoritmo dinamico, il sistema di controllo è in grado di modificare la procedura di assegnazione in funzione dell'intensità di traffico al momento della chiamata, in modo da effettuare un'ottimizzazione multiobiettivo. Può infatti capitare, durante le ore di "morbida", che il principio di raggruppare gli utenti in base alla destinazione del piano risulti controproducente. Il sistema, denominato Intelligent Hall Call Destination Dispatching System, si basa così sul massimo beneficio collettivo favorendo, in questo caso, il tempo di attesa del singolo utente. L'edificio viene virtualmente suddiviso in tante

Tab. 11.04 - la tabella illustra i vantaggi derivanti dall'interazione dei diversi sistemi tecnologici e configurativi degli ascensori. (Fonte: De Jong J.)

Sistema di gestione / tecnologia	Numero di vani corsa
Standard	3 bank da 8 ascensori = 24 vani
Hall Call Destination Dispatching System	3 bank da 6 ascensori = 18 vani
Double decker	2 bank da 8 ascensori double decker = 16 vani
Double decker e Hall Call Destination Dispatching System	Un bank da 7 e uno da 6 ascensori double decker = 13 vani

subzone quanti sono gli ascensori operanti, mentre la lunghezza di ciascuna sub-zona varia in funzione dell'intensità del traffico. Durante le ore di "morbida" le sub-zone sono molto lunghe e si sovrappongono l'una con l'altra: in questo caso, potendo contare su un maggiore numero di ascensori disponibili per ogni piano, il tempo medio di attesa risulta basso essendo più probabile che almeno uno degli ascensori assegnati a un determinato piano si trovi vicino all'utente in attesa. Man mano che l'intensità del traffico aumenta, il sistema accorcia la lunghezza delle varie sub-zone riducendo di conseguenza il numero di fermate possibili al quale ogni singola cabina deve rispondere. Durante le ore di punta, il sistema attua la modalità che privilegia la riduzione del tempo di viaggio della cabina, accorciando le zone fino a eliminare le sovrapposizioni. In tal modo ogni cabina effettuerà il numero minimo di fermate incrementando la capacità totale del sistema ma penalizzando i singoli utenti, che avranno un tempo di attesa superiore.

In base alla scelta della configurazione più idonea del sistema di trasporti verticali è possibile ottenere una sensibile riduzione della superficie totale del *service core*, con i conseguenti vantaggi in termini di *embodied energy*.

Gli ascensori occupano una superficie del 40-50% circa del *service core* ai piani bassi di un grattacielo ma, comprendendo gli spazi necessari ai vestiboli di accesso alle cabine, la superficie aumenta notevolmente. Al piano terra, dove tutti gli ascensori risultano accessibili, i vani di corsa e i vestiboli occupano la quasi totalità dello spazio del *service core*, a eccezione delle scale di emergenza, dell'eventuale *core* strutturale e dello spazio necessario per i collegamenti verticali dei *sub-services*. Ai piani superiori invece lo spazio compreso tra i vani di corsa degli ascensori viene utilizzato, ai livelli ove questi non effettuano fermate, per inserire servizi igienici, locali tecnici o magazzini. L'incidenza che gli ascensori hanno sull'*embodied energy* di un edificio è quindi in funzione dell'effetto dell'efficienza d'uso dello spazio, proporzionale alla superficie che essi occupano nel *service core*.

Lo schema e i materiali delle strutture

La struttura di elevazione è, in base ai dati ottenuti dall'analisi condotta, l'unità tecnologica che più influenza il bilancio dell'*embodied energy* di un

edificio alto, aumentando progressivamente la propria importanza al crescere dello sviluppo verticale della torre. Durante un breve periodo di tempo definito "strutturalismo", le componenti strutturali divennero un elemento generatore dell'aspetto esteriore di numerosi grattacieli. Numerosi sono gli esempi di questa corrente, tra i quali si possono annoverare alcuni edifici realizzati da SOM sotto l'influenza di Fazlur Khan: il John Hancock Center di Chicago e l'Alcoa Building di San Francisco sono due esempi radicali dell'importanza, anche formale, che venne riconosciuta alla componente strutturale di un grattacielo. Presto però i progettisti iniziarono a privilegiare la pulizia formale della facciata rispetto all'espressione della valenza strutturale degli edifici alti e vennero a mano a mano abbandonate le soluzioni che costringevano alla presenza visibile di elementi diagonali di controventamento.

Come si è visto, le strutture di un edificio alto possono essere suddivise in strutture interne (caratterizzate quindi dalla presenza di un core) e strutture esterne, nelle quali il *service core* viene liberato da compiti di controventamento.

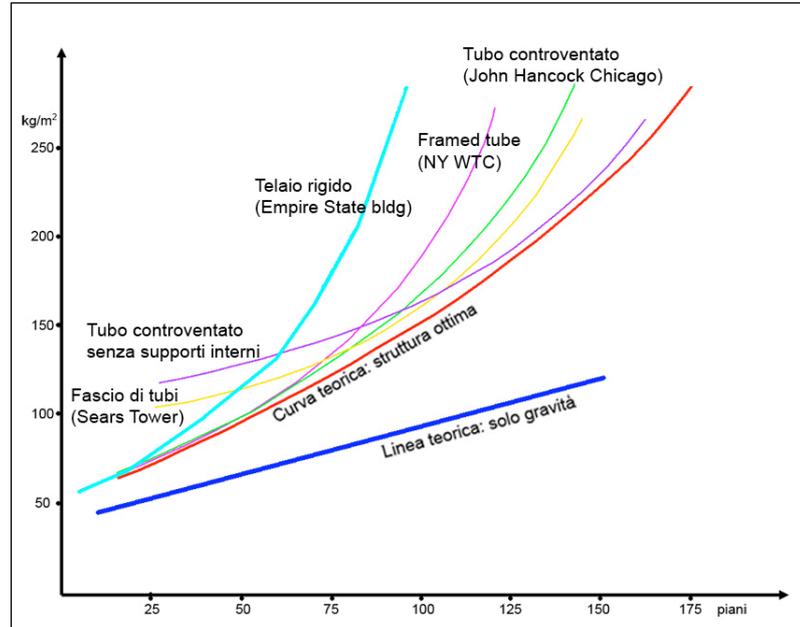
Le strutture esterne rappresentano lo schema statico più efficiente, perché "è ragionevole concentrare il più possibile gli elementi strutturali sul perimetro dei grattacieli per aumentare la loro profondità strutturale e, di conseguenza, la loro resistenza ai carichi laterali"¹⁰. In questo modo, grazie alla configurazione geometrica ottenuta, il sistema strutturale resiste più grazie alla sua forma che grazie alla resistenza caratteristica dei materiali di cui è costituito.

Le strutture interne invece hanno delle dimensioni più ridotte e sollecitano quindi maggiormente i materiali di cui sono costituite: richiamando la similitudine del grattacielo come mensola infissa al terreno, le strutture interne sono mensole che hanno, rispetto alle strutture esterne, un minore spessore e devono quindi contrastare la flessione e le forze di ribaltamento tramite la resistenza dei materiali.

Tipo di struttura		Altezza limite di efficienza (piani)		
		calcestruzzo	acciaio	ibrido
Strutture interne	Telaio rigido	20	30	-
	Telaio labile controventato	-	10	-
	Telaio labile con core	35	-	-
	Core + telaio rigido	70	40	60
	Outrigger	150		
Strutture esterne	Tubo a telaio	60	80	-
	Tubo controventato	100	100-150	-
	Fascio di tubi	110	110	-
	Tubo dentro tubo	80		
	Diagrid	60	100	-
	Struttura spaziale	-	150	-
	Superframe	100	160	-
	Exoscheletro	-	100	-

Img. 11.04 - A seconda delle caratteristiche dell'edificio (altezza, dimensioni in pianta ecc.) varia la configurazione strutturale più idonea, ovvero quella che più si avvicina alla curva teorica della struttura ottima.

Il corretto dimensionamento delle strutture di un edificio è fondamentale, sia ovviamente per la sicurezza e il comfort degli occupanti, sia per mantenere sotto controllo i costi totali dell'edificio.



Un altro elemento che ha giocato a favore delle strutture interne è la loro relativa facilità e velocità di esecuzione, che permette di realizzare il *core* centrale prima delle altre componenti dell'edificio fornendo quindi un supporto utilizzabile per le altre fasi del cantiere. La presenza di un *core* centrale si presta inoltre al facile utilizzo del calcestruzzo, materiale che sta avendo un impiego sempre crescente grazie alle minori fluttuazioni del suo prezzo.

Le diverse tipologie di strutture interne ed esterne esistenti sono caratterizzate da limiti di efficienza oltre i quali il loro impiego non diventa più conveniente a meno di costosi e inutili sovradimensionamenti. Il principio del "*premium for height*" enunciato da Khan pone i limiti massimi e minimi dell'efficienza strutturale¹¹. All'interno delle due linee che rappresentano la struttura resistente ai soli carichi verticali e la linea che rappresenta l'andamento di una struttura a telaio rigido si collocano i segmenti che rappresentano le altre configurazioni strutturali: ogni sistema ragionevolmente utilizzabile avrà pertanto un suo tratto "ottimo" in cui si avvicina, più degli altri, alla linea teorica della massima efficienza strutturale. Per ogni altezza dell'edificio è pertanto possibile individuare il sistema più idoneo, ovvero quello che utilizza al meglio i materiali di cui è costituito.

Il sistema di ventilazione

La diffusione dell'aria condizionata a partire dal Secondo Dopoguerra impose l'attribuzione di una nuova funzione al *service core*: la distribuzione verticale delle condotte di ventilazione e l'inserimento, in alcuni edifici, di sistemi decentralizzati di pompaggio e trattamento dell'aria. L'introduzione dei sistemi di ventilazione forzata e di condizionamento fu una conseguenza, e allo stesso tempo una causa, della diffusione dei sistemi di

involucro a *curtain wall* e dell'incremento della profondità dei grattacieli. Le maggiori profondità degli edifici richiedevano inoltre un maggior impiego dell'illuminazione artificiale che, unita alla comparsa delle prime apparecchiature elettroniche, surriscaldava gli ambienti interni rendendo necessario l'utilizzo dei sistemi di raffrescamento.

I primi sistemi installati negli edifici alti costruiti dal dopoguerra in avanti erano sistemi ad aria a volume costante, ed erano quindi caratterizzati da grandi cavedi di ventilazione. Negli anni '60 a questi si sostituirono i sistemi ad aria a volume variabile che richiedevano un ulteriore incremento dei cavedi verticali e uno spazio del controsoffitto superiore del 30% rispetto ai quelli precedenti, con conseguenti impatti negativi molto sensibili nei grattacieli di grande altezza¹².

Con l'introduzione dei sistemi ad acqua/aria è stato possibile ottenere un risparmio considerevole di spazio: un liquido, anziché una massa d'aria, trasporta il "caldo" o il "freddo" dal riscaldamento centralizzato o dalle torri di evaporazione alle unità finali consentendo un risparmio di spazio del 25-35%¹³.

In presenza di un involucro ben isolato è tuttavia possibile utilizzare sistemi che raffreddano direttamente le strutture dell'edificio e utilizzano la loro inerzia termica per attenuare gli sbalzi di temperatura.

La tendenza attuale di impiegare, ove climaticamente possibile, la ventilazione naturale consente chiaramente l'eliminazione dei cavedi verticali e delle macchine di trattamento dell'aria altrimenti necessarie ma può provocare, come è avvenuto in alcuni casi, la creazione di voluminosi "camini" di ventilazione. I vuoti verticali della Swiss Re Tower, per esempio, resi necessari per favorire il moto ascensionale di convezione dell'aria, possono essere letti come una volumetria aggiuntiva rispetto a quella necessaria alle normali funzioni dell'edificio.

Le "invariabili" del sistema: vie di fuga, servizi igienici e spazi accessori

Le scale antincendio occupano una porzione variabile della superficie di un grattacielo in funzione dell'altezza e della popolazione stimata dell'edificio; il loro dimensionamento si basa sulle normative vigenti nei vari Paesi. Data questa condizione sono estremamente limitate le possibilità di riduzione dell'occupazione dello spazio, non potendo derogare dall'applicazione di queste normative. Una possibilità, praticabile però solo per gli edifici di altezze medio basse, è costituita dall'utilizzo di scale di fuga esterne che consentono un minor impiego di materiali grazie all'assenza delle pareti di compartimentazione.



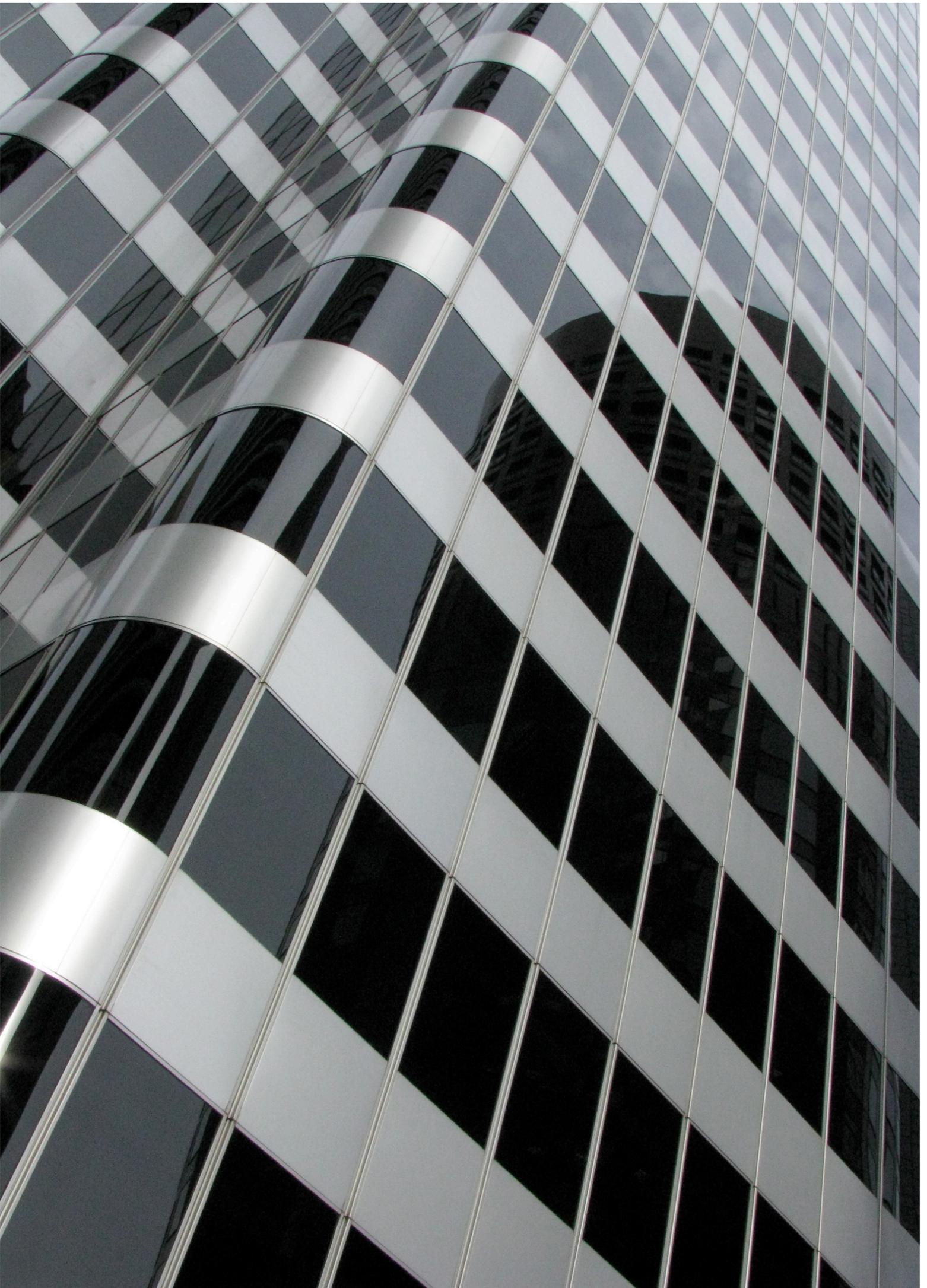
Img. 11.05 - Lo skybridge delle Petronas Towers di Kuala Lumpur mette in comunicazione i due edifici fornendo una via alternativa per la fuga in caso di evacuazione. Grazie a questa soluzione, sulla cui applicabilità sono in corso numerosi studi, è possibile ridurre il numero delle scale di fuga, creando di conseguenza notevoli risparmi nell'embodied energy del grattacielo.

Recentemente, si sono presentate delle possibili alternative che consentono di ridurre il numero di scale antincendio in un edificio alto: gli *sky bridge* e gli ascensori di evacuazione. La realizzazione dei primi, sebbene siano in corso numerose ricerche a riguardo, è sostanzialmente limitata al caso della costruzione contemporanea di più edifici adiacenti, come nel caso delle Petronas Tower o delle Twin Towers di Vienna. Per esempio, grazie allo *sky bridge* collocato al 42° piano, il sistema di evacuazione delle Petronas Towers risulta semplificato garantendo un'ulteriore possibilità di fuga a metà dell'altezza dell'edificio. Grazie a questa soluzione è stata creata una via di fuga alternativa, "evitando di dover aggiungere due ulteriori scale di emergenza"¹⁴ per ogni torre. Anche l'utilizzo di ascensori di evacuazione consente, negli edifici più grandi, di ridurre il numero delle scale antincendio necessarie.

I servizi igienici e gli altri vani minori presenti in un edificio alto sono ambienti che vengono solitamente collocati negli spazi di risulta del *service core*, una volta che è stata definita la posizione dei servizi principali che richiedono un'assoluta continuità verticale quali ascensori e vie di fuga. Solo negli edifici più bassi l'ottimizzazione di questi spazi può essere utile al fine di un contenimento delle dimensioni del *service core*. Gli edifici dotati di un solo *bank* di ascensori non hanno, infatti, degli spazi di risulta sufficientemente grandi da accogliere i servizi igienici e gli altri ambienti, che devono essere quindi collocati su porzioni di solaio altrimenti utilizzabili per altri scopi e sottraendo quindi spazio utile all'edificio. E' necessario ricordare che le dimensioni minime dei servizi igienici sono spesso dettate dalle normative che fissano sia il numero dei bagni (in funzione della popolazione da servire) sia la dimensione dei vari locali.

Negli edifici più alti invece, la presenza di due o più *bank* di ascensori crea degli spazi di risulta difficilmente sfruttabili, se non per l'alloggiamento dei bagni e di altri ambienti secondari. Nei piani più bassi, dove gli ascensori destinati ai livelli superiori non effettuano fermate, viene solitamente utilizzato lo spazio compreso tra i vani di corsa, altrove occupato dai relativi vestiboli. Queste aree infatti, essendo generalmente lontane dalle finestre e comunque spazialmente poco gestibili, non possono essere comunque conteggiate come superficie utile affittabile dell'edificio

- 1 Minghze Li, Masanori Fushimi, "The Efficiency Analysis of Skyscrapers based on the inner traffic", *International Transport* volume 4, n° 5 / 6 (1997)
- 2 Ken Yeang, *The skyscraper bioclimatically considered*. (Londra: Academy Editions, 1996)
- 3 Nigel Howard, "Building environmental assessment methods: in practice", atti del convegno internazionale: *the 2005 World Sustainable Building Conference. Tokyo, 27-29 Settembre 2005*. (Tokyo: 2005).
- 4 Harvey M. Sachs, *Opportunities for elevator energy efficiency improvements*, (Washington: American council for energy efficient Economy, 2005) [report interno]
- 5 Roger Howkins, "Elevator core areas: a comparison of existing structures and those of the future", *Multi-purpose High-rise Towers and Tall Buildings* volume 1, n°3 (1997), 115 - 130
- 6 Thomas M.P. Linzey, "Optimum lift design for tall buildings", *Building Sciences* volume 8 (1973)
- 7 Gina Barney, "Vertical transportation in Tall Buildings", *Elevator World* volume 51, n° 5 (2003)
- 8 James Fortune, "Modern double deck elevator applications and theory", *Elevator World*, Agosto (1996)
- 9 Mohammed Sherif, Gregory Smith, Peter Weismantle, "Burj Dubai: An architectural technical design case study", in *Structural Design of Tall and Special Buildings* volume 16, (2007)
- 10 Mir M. Ali, Kyoung Sun Moon, "Structural developments in tall buildings: current trends and future prospects", *Architectural Science Review* volume 50, n° 3 (2007).
- 11 questa teoria, ancora da sviluppare interamente, è stata desunta da una conversazione con il prof. Ali Mir tenutasi l'8 Aprile 2008 all'università di Urbana Champaign, Illinois, USA
- 12 David Arnold, "Air Conditioning in Office Building After World War II", *Ashrae Journal*, Luglio (1999)
- 13 Davis Langdon, Neal Kalita, Steve Watts, "Tall Buildings - Cost model". *Building*, n°17, (2007)
- 14 Galal Abada, *Petronas Office Towers, On Site Review Report*, (2004)



Il service core e i consumi energetici del grattacielo

La distribuzione spaziale e lo sfruttamento dei carichi termici

Analizzando i dati del consumo di energia di un edificio alto ottenuti dal foglio di calcolo già descritto nel terzo capitolo, è possibile individuare l'incidenza delle voci ascrivibili al *service core* rispetto al fabbisogno totale della costruzione.

Il primo dato che può essere messo in evidenza è la predominanza dei consumi dovuti alle apparecchiature elettriche utilizzate dagli occupanti a cui vanno sommati quelli destinati all'illuminazione dell'edificio, responsabili di circa il 15% del fabbisogno totale. Queste due voci di consumo avvengono all'esterno del *service core*, interessando direttamente gli spazi utilizzabili dell'edificio. Altre voci, pur essendo "veicolate" dal *service core*, non sono però direttamente localizzate al suo interno, come per esempio la climatizzazione e la ventilazione del grattacielo. Altre, quali gli ascensori e i consumi dovuti ai servizi igienici, sono invece direttamente localizzati all'interno del *service core* dell'edificio alto.

Oltre a questa suddivisione è importante sottolineare le relazioni di dipendenza che esistono tra le varie voci. Per esempio, i consumi dovuti all'illuminazione e alle apparecchiature producono un carico termico sull'edificio molto elevato, in alcuni casi pari alla quasi totalità del loro valore. A seconda della tipologia dell'apparecchiatura e della sua efficienza energetica si ha infatti un rilascio di calore pari a una percentuale variabile dell'energia necessaria al suo funzionamento. L'efficienza dell'illuminazione, per esempio, varia a seconda della fonte luminosa utilizzata: una comune lampadina a incandescenza ha un'efficienza luminosa compresa tra l'1 e il 3%, una lampada a fluorescenza tra il 4 e il 14 % mentre alcuni tipi di LED arrivano a un'efficienza del 22 %; il dato indica la percentuale di energia assorbita che viene trasformata in radiazione luminosa visibile, mentre la rimanente parte, viene dispersa nell'ambiente sotto forma di calore.

E' dunque necessario considerare quando gli apporti di calore generati come conseguenza di altri impieghi dell'energia si ripercuotono in termini positivi sull'edificio, e quando invece essi hanno conseguenze negative sui consumi energetici, rendendo necessario un maggiore ricorso al raffrescamento interno.

Un grattacielo è caratterizzato solitamente da un involucro vetrato avente una bassa inerzia termica che rende le zone perimetrali molto sensibili alle variazioni esterne di temperatura e alla radiazione solare. Al crescere della distanza da questo, le aree centrali sono via via meno interessate dalle fluttuazioni esterne di temperatura. In queste zone, in assenza di

dispersioni, i carichi termici interni devono essere costantemente controbilanciati dall'impianto di condizionamento dell'edificio. Durante l'inverno è spesso necessario riscaldare le aree perimetrali che, a causa di infiltrazioni d'aria e dispersioni termiche per convezione e irraggiamento, sono sensibilmente influenzate dal clima esterno, mentre le aree interne necessitano l'uso del condizionamento d'aria. Gli edifici in cui lo spazio perimetrale è fisicamente separato da quello interno tramite delle partizioni verticali sono quelli più soggetti al contemporaneo impiego sia del riscaldamento che del raffrescamento. Il riscaldamento delle aree perimetrali è ottenuto generalmente tramite convettori ad aria mentre per il raffrescamento viene solitamente utilizzata l'aria fredda esterna, dopo essere stata filtrata dal sistema di depurazione.

I consumi energetici degli ascensori

E' frequente incontrare analisi sui consumi di un grattacielo nelle quali si legge che "gli ascensori usano circa il 10% dell'energia di un edificio alto"¹. Tale affermazione è concettualmente sbagliata. E' infatti errato attribuire a un sistema così mutevole una quota fissa dei consumi, anch'essi variabili, di un grattacielo. Come infatti si è visto nell'analisi introduttiva, e come è comunque facile intuire, il consumo dei trasporti verticali aumenta in maniera non proporzionale all'altezza dell'edificio.

Il sistema di ascensori è "curiosamente una voce non regolamentata di consumo, ovvero non è contemplata dai regolamenti edilizi. (...) in pratica, il consumo degli ascensori è un *di più imprevedibile*"². Negli edifici alti questa voce si ripercuote in maniera variabile, influenzata dall'altezza della costruzione, dalla tipologia degli utenti trasportati e dall'organizzazione dell'orario di lavoro³.

Gli ascensori, nonostante gli sviluppi dei software di gestione e di alcune innovazioni che hanno modernizzato il principio di funzionamento, sono sostanzialmente dei meccanismi estremamente semplici. Nella loro semplicità risiede l'elevata affidabilità meccanica ma, nel contempo, è insita anche la ragione principale della loro relativa inefficienza energetica. Nonostante infatti i consumi di ogni singolo ascensore siano molto contenuti, al crescere dell'altezza della corsa cresce in maniera esponenziale il loro consumo di energia. Le ragioni sono molteplici, ma vanno ricercate soprattutto in due elementi: la maggiore velocità richiesta agli ascensori per superare il dislivello in un tempo ritenuto accettabile dagli utenti e l'incremento del peso dei cavi necessari alla movimentazione della cabina. Sebbene il peso di questa sia infatti bilanciato dalla presenza di un contrappeso, i cavi di acciaio che collegano i due elementi si trovano alternatamente da una parte e dall'altra della ruota di tiro e non possono, di

conseguenza, essere controbilanciati. Negli ascensori di grande altezza, il peso dei cavi risulta superiore a quello della cabina tanto che, per una massa utile trainata di soli 1600 kg, il peso dei cavi in un ascensore di 500 metri di corsa supera le 10 tonnellate. L'andamento dei consumi di un ascensore è così caratterizzato da una curva che cresce in modo non proporzionale all'altezza.

Negli edifici più alti risulta quindi efficiente, dal punto di vista energetico, interrompere l'altezza massima della corsa utilizzando delle *sky lobby*.

I moderni sistemi di controllo degli ascensori finalizzati a incrementare la capacità del sistema hanno una positiva ricaduta anche sui consumi energetici. I sistemi più diffusi, tipo HCDDS, puntano a una riduzione del tempo di ciclo (Round Trip Time) dell'ascensore aggregando la destinazione finale degli utenti in partenza dalla *hall*. In pratica viene ridotto sia il numero di fermate che una cabina compie, sia l'altezza media dei viaggi effettuati da un *bank* di ascensori. Entrambi gli effetti si traducono in una riduzione dei consumi di energia del sistema di trasporto verticale. Una consistente parte dei vantaggi ottenuti⁴ sono però dati anche dal minor numero di cabine movimentate e, in aggiunta, dalla riduzione dei consumi indiretti di un ascensore. Ogni cabina è infatti dotata di un sistema autonomo di ventilazione e di un impianto di illuminazione, spesso in funzione 24 ore al giorno indipendentemente dall'utilizzo dell'ascensore. L'installazione di un sistema di controllo del funzionamento di questi dispositivi interni contribuisce a ridurre, seppur di una piccola percentuale, il fabbisogno energetico del sistema di ascensori.

Gli ascensori sono però responsabili, oltre che del consumo diretto di energia per il loro funzionamento, anche di un consumo indiretto rilevante a causa delle ripercussioni che provocano sul sistema di raffrescamento dell'edificio. Infatti "praticamente tutta l'energia elettrica di un ascensore, viene dissipata come calore all'interno dell'edificio"⁵, nelle sale dove sono alloggiati i motori e all'interno dei vani di corsa. Il sistema di frenatura attualmente in uso negli ascensori funziona infatti per attrito, rallentando la discesa dell'ascensore tramite l'azione di ferodi che agiscono sulle pulegge di trazione, trasformando l'energia cinetica e potenziale della cabina in calore. Nei grattacieli, il cui sistema di trasporto verticale è particolarmente sollecitato, la ventilazione naturale delle sale macchine degli ascensori non è sufficiente al mantenimento delle temperature di esercizio tollerate (40°C secondo la norma UNI EN 81-1:2005) e si rende necessaria l'installazione di un apposito sistema di condizionamento dell'aria il cui consumo varia tra il 20 e il 40% del fabbisogno totale dello stesso ascensore.

Una delle soluzioni disponibili per mitigare l'effetto di surriscaldamento dato dalla frenatura è costituito dall'adozione di motori sincroni a magnete

permanente⁶ che sono in grado di trasformare nuovamente in energia elettrica l'energia potenziale e cinetica delle cabine in moto frenato. Il vantaggio di questo sistema è quindi doppio, alleviando il carico termico che deve essere smaltito tramite l'utilizzo dell'aria condizionata e creando dell'energia elettrica da reimmettere nella rete.

I consumi energetici dei servizi igienici

La principale voce di consumo legata all'uso e al funzionamento dei servizi igienici è da attribuire all'utilizzo di acqua calda a uso sanitario da parte degli utenti. Stimando una richiesta di 5 litri al giorno procapite, l'incidenza media è pari al 4-5% sul consumo totale dell'edificio. Le altre voci di consumo sono dovute al pompaggio dell'acqua necessaria, all'illuminazione e alla ventilazione dei locali che, in caso di *service core* interno all'edificio, devono essere costantemente arieggiati per mantenere inalterate le condizioni ambientali interne. L'umidità dell'ambiente, aggravata dall'uso di acqua calda, provoca un sovraccarico sul sistema di condizionamento che deve smaltire il calore latente dato dalla sua condensazione.

I principali meccanismi su cui è possibile intervenire per la diminuzione dei consumi devono partire dal presupposto di rendere operanti tutti i sistemi tecnologici presenti nei servizi igienici solo quando ne è effettivamente richiesto il funzionamento. L'installazione di sensori di movimento permette di interrompere automaticamente l'illuminazione e il funzionamento di altri dispositivi elettrici quando non sono presenti persone all'interno dei locali. Inoltre, l'utilizzo di rubinetti a basso consumo consente una riduzione dello spreco di acqua, soprattutto se calda, influenzando positivamente sia sui consumi necessari alla fornitura dell'acqua stessa (riscaldamento e pompaggio), sia sui consumi del sistema di condizionamento / ventilazione.

Un ulteriore spunto di interesse è dato dall'impiego della ventilazione naturale. I servizi igienici sono infatti degli ambienti in cui la presenza degli utilizzatori è discontinua e limitata a una breve frazione del giorno per ciascun occupante; questo rende possibile l'utilizzo diretto della ventilazione naturale per un più lungo periodo dell'anno rispetto agli ambienti di lavoro nei quali il livello di comfort ambientale richiesto è notevolmente più elevato. L'utilizzo della ventilazione naturale nei servizi igienici permette di ridurre il volume totale dell'edificio da climatizzare di una percentuale pari all'ingombro dei servizi stessi e variabile, in funzione di diversi parametri progettuali, normativi e della destinazione d'uso, tra il 4 e il 6% del volume totale di un edificio.

I consumi di energia del sistema di condizionamento

Tramite la modifica dei parametri di “default” del foglio di calcolo utilizzato per la determinazione dei consumi energetici è possibile individuare l’incidenza che le possibili alternative al sistema di ventilazione hanno sul fabbisogno dell’edificio.

L’utilizzo di un sistema di ventilazione porta con sé delle notevoli variazioni dei consumi dovuti al pompaggio dell’aria all’interno dell’edificio. I sistemi solo ad aria, oltre a occupare una porzione rilevante dello spazio del *service core* incidendo negativamente sull’*embodied energy* dell’edificio, sono caratterizzati anche da un maggior dispendio di energia dovuto alla necessità di superare gli attriti interni alle condotte di ventilazione. Le soluzioni di impianto misto acqua/aria sono invece in grado di consentire un duplice risparmio di spazio e di energia.

Uno degli aspetti più importanti per quanto riguarda il consumo energetico dovuto alla climatizzazione negli edifici è dato dalla possibilità di utilizzare l’aria esterna per il raffrescamento durante i periodi dell’anno in cui le temperature lo consentono.

L’altezza dell’edificio e il collocamento delle macchine per il trattamento dell’aria possono incidere sulla riduzione dei consumi: la temperatura diminuisce infatti a seconda della quota di rilevamento con una progressione lineare di circa 1 grado ogni 100 metri di altezza. Grazie a questo effetto è possibile, negli edifici più alti, ridurre i consumi di energia dovuti al raffrescamento anche in considerazione dell’aumento della dispersione termica dell’edificio⁷. Inoltre, grazie a una minore temperatura, l’aria in quota ha un’umidità assoluta inferiore rispetto a quella presente al suolo. Di conseguenza si riduce il quantitativo di calore rilasciato durante la fase di condensazione ed è richiesto un minore lavoro ai sistemi di pompaggio, grazie a una minore densità del fluido trattato.

Il *service core* di un edificio alto, e in particolare i suoi elementi cavi di continuità verticale, sono direttamente coinvolti nel controllo dei consumi energetici relativi al condizionamento d’aria anche a causa dell’effetto camino. Gli elementi verticali cavi di un grattacielo (vani di corsa degli ascensori, cavedi di ventilazione e scale di fuga) contengono dell’aria che si trova per un lungo periodo dell’anno a una temperatura sensibilmente diversa rispetto all’aria esterna. Le conseguenze dell’effetto camino sono chiaramente percepibili in corrispondenza dei punti di discontinuità dell’involucro, come per esempio le porte di ingresso dell’edificio, dove è possibile osservare delle forti correnti d’aria che entrano (in inverno) o

Solo aria Volume variabile	Solo aria Volume costante	Acqua - Aria Volume variabile	Acqua - Aria Volume costante
100	140	84	92

Tab. 12.01 - consumo relativo del sistema di ventilazione dell’edificio in funzione della tecnologia adottata. (D.T.)

escono (in estate) dal grattacielo. A causa dell'effetto camino il grattacielo è interessato da ingenti dispersioni termiche provocate dalla fuoriuscita dell'aria trattata dall'impianto. Inoltre questo fenomeno è responsabile del sovraccarico sui sistemi di ventilazione forzata a causa della necessità di contrastare, con una maggiore potenza del sistema di pompaggio, i moti verticali indesiderati dell'aria. Le tecniche disponibili per contrastarlo sono date da sistemi attivi (sensori di pressione che modificano gli apporti d'aria dati dall'impianto di ventilazione) o sistemi passivi che, a differenza di quelli attivi, cercano di prevenire le cause del fenomeno. I sistemi passivi devono innanzitutto puntare a una riduzione delle discontinuità dell'involucro mediante un miglioramento delle sigillature e il controllo delle aperture verso l'esterno (da qui la costante presenza delle porte rotanti nei grattacieli che, grazie al loro funzionamento, non permettono mai l'instaurarsi di una corrente d'aria). Anche le porte degli ascensori e delle altre cavità verticali devono essere progettate per ridurre il più possibile il passaggio dell'aria; tuttavia risulta difficile la sigillatura delle porte degli ascensori, a causa dell'elevata usura a cui i materiali adoperati sarebbero sottoposti dai cicli di apertura e chiusura delle stesse che costringerebbero a frequenti e costosi interventi di manutenzione. In alcuni casi è possibile riscontrare, per ovviare a questo problema, la presenza di porte a tenuta d'aria che isolano completamente l'intero vano degli ascensori. In secondo luogo le opere di prevenzione devono prevedere la frammentazione, ove possibile, degli ambienti di continuità verticale tramite l'applicazione di paratie che interrompano i cavedi tecnici e le vie di fuga. Negli edifici più alti, specialmente se in concomitanza con condizioni climatiche esterne avverse, vengono adottate misure attive e passive che, grazie alla ridondanza e reciproca interazione, sono in grado di limitare gli effetti negativi di un fenomeno naturale che non è eliminabile ma solo mitigabile⁸.

L'effetto camino non deve essere considerato un fenomeno in grado di portare solo conseguenze negative ma può essere invece sfruttato per creare delle opportunità di riduzione dei consumi energetici. Come si è visto, nel 30 St. Mary Axe (sviluppando gli studi già adottati nella Commerzbank di Francoforte) Norman Foster ha attivamente sfruttato questo fenomeno per consentire la ventilazione naturale dell'edificio: ogni solaio, di forma circolare, è interrotto in più punti creando, con le corrispondenti interruzioni effettuate ai livelli superiori, degli elementi di continuità verticale che consentono la ventilazione naturale del fabbricato. Questi vuoti, interrotti ogni 6 piani per ragioni di sicurezza contro gli incendi, aspirano l'aria interna evacuandola dalla loro sommità, sottraendo così il calore generato dalle apparecchiature elettriche e dalle persone presenti all'interno del grattacielo. Esistono tre differenti strategie per sfruttare la ventilazione naturale in un

edificio alto beneficiando dell'effetto del vento, dell'effetto camino o del semplice effetto di galleggiamento dell'aria più calda; ogni strategia può essere utilizzata singolarmente o in combinazione con le altre⁹. Negli edifici alti tuttavia devono essere prese alcune precauzioni a causa della maggiore intensità dei venti in quota e per prevenire un effetto camino eccessivamente pronunciato dovuto al notevole sviluppo verticale della costruzione. Come infatti si può riscontrare sia nel 30 St. Mary Axe che nella Commerzbank, la suddivisione verticale in settori indipendenti può migliorare il funzionamento del sistema evitando l'insorgere di fenomeni estremi non controllabili¹⁰.

- ¹ Will Pank, Herbert Girardet, Greg Cox, *Tall Buildings and sustainability*, (London: Faber Maunsell, 2002)
- ² Sachs, M. H., op cit.
- ³ Harri Hakala, Marja-Liisa Siikonen, Tapio Tyni, Jari Ylinen, "Energy-Efficient Elevators for Tall Buildings", atti del convegno internazionale: *cities in the third millennium : 6th World Congress of the Council on Tall Buildings and Urban Habitat, 26 February to 2 March, 2001*, a cura di Beadle L., (Chicago: Taylor & Francis, 2001)
- ⁴ Johannes De Jong, "Advances in Elevator Technology: Sustainable and Energy Implications", atti del convegno internazionale: *Tall&Green, CTBUH World Congress 2008, Dubai, UAE 2-5 Marzo 2008*, a cura di Wood A., (Chicago: CTBUH, 2008)
- ⁵ Harvey M. Sachs, *Opportunities for elevator energy efficiency improvements*, (Washington: American council for energy efficient Economy, 2005) [report interno].
- ⁶ Enderdemodal Engineering Limited, *Market assesment for energy efficient elevators and escalators, final report*, (Ontario: Office of Energy Efficiency, 2004) [report interno]
- ⁷ Luke Leung, Peter Weismantle, "Sky-sourced sustainability: how supertall buildings can benefit from height" atti del convegno internazionale: *Tall&Green, CTBUH World Congress 2008, Dubai, UAE 2-5 Marzo 2008*, a cura di Wood A., (Chicago: CTBUH, 2008)
- ⁸ Luke Leung, Peter Weismantle, "Burj Dubai stack effect" *CTBUH Journal* volume 6, Autunno (2007)
- ⁹ Wendy Meguro, *Beyond Blue and Red Arrows: Optimizing Natural Ventilation in Large Buildings*. (Massachusetts Insitute of Tecnology: 2005, Internal Report)
- ¹⁰ David Etheridge, Brian Ford, "Natural ventilation of tall buildings – options and limitations", atti del convegno internazionale: *Tall&Green, CTBUH World Congress 2008, Dubai, UAE 2-5 Marzo 2008*, a cura di Wood A., (Chicago: CTBUH, 2008)



L'importanza del posizionamento del service core

La simulazione effettuata

Come è stato visto, il *service core* ha tradizionalmente assunto una posizione centrale nell'edificio; le ragioni che stanno alla base di questa scelta sono molteplici. Tuttavia, riconoscendo il ruolo dei grattacieli come strumenti per creare profitto, è lecito considerare che la vera chiave del tradizionale posizionamento centrale sia dovuta a mere decisioni economiche. Infatti anche le limitazioni tecniche che hanno storicamente portato il *service core* a occupare una posizione centrale e che sono state descritte nei capitoli precedenti (scarsa luminosità, assenza di vista verso l'esterno, cattiva ventilazione ecc) possono essere lette in funzione degli effetti negativi causati sul valore delle aree interessate.

Nonostante fossero state risolte già da tempo le limitazioni tecnologiche all'utilizzo di questi spazi, il *service core* è rimasto quasi sempre relegato a una posizione nascosta all'interno dell'edificio. Solo in tempi più recenti, grazie all'attività di Ken Yeang, è stato riconosciuto a questo elemento un ruolo nel controllo climatico del grattacielo. Numerosi studi teorici hanno provato a dimostrare l'efficienza del posizionamento esterno del *service core* e la sua efficacia per la riduzione dei consumi, soprattutto di raffrescamento, dell'edificio alto. Come osservato precedentemente, l'errore comune in cui molti incorrono è di considerare il *service core* come un oggetto inerte, che può essere spostato liberamente senza influenzarne né il funzionamento né i suoi consumi energetici né l'*embodied energy*.

L'analisi di entrambi i parametri, riferita alle singole componenti del *service core*, ha tuttavia permesso di analizzare il loro peso in relazione ai consumi energetici e all'*embodied energy* e ha consentito di individuare le strategie da adottare per ridurre la rispettiva incidenza.

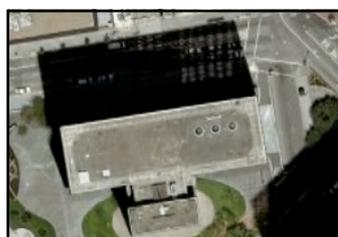
Osservando alcuni edifici dotati di un *service core* esterno è possibile individuare delle caratteristiche di dimensionamento che li differenziano dalla configurazione centrale. Il primo risultato importante di questa osservazione è dato dal rapporto di efficienza NRA / GFA riscontrato: gli edifici dotati di un *service core* non convenzionale hanno un coefficiente mediamente inferiore del 3 - 7 % rispetto alla media degli edifici della stessa altezza, con alcuni estremi sensibilmente al di sotto della norma. Questo dato è comprensibile considerando che un *service core* periferico porta necessariamente alla presenza di corridoi più lunghi, di passerelle e passaggi sospesi per connetterlo alle altre parti dell'edificio. Le ripercussioni sull'*embodied energy* e sui consumi dell'edificio sono immediati: a parità di superficie utile l'*embodied energy* dell'edificio aumenta infatti di un valore

Tab. 13.01 - Per comprendere le ripercussioni del posizionamento del service core sulle altre parti dell'edificio sono stati analizzati 4 grattacieli caratterizzati da un service core esterno. Tutti gli edifici esaminati hanno evidenziato un rapporto NRA / GFA inferiore alla media di grattacieli, della stessa altezza, organizzati in maniera tradizionale.

La variazione del perimetro è invece stato calcolato nei confronti del corrispondente edificio equivalente, ovvero un grattacielo con la stessa superficie utile ma costruito con un service core tradizionale e con lo stesse proporzioni lunghezza/larghezza della pianta. (D.T.)

	One Bush Street	Inland Steel	Ibm Plaza	Poly International
NRA / GFA	80%	79%	77%	49%
Differenza NRA / GFA rispetto a edificio equivalente	-5%	-5%	-6%	-29%
Differenza perimetro rispetto a edificio equivalente	+14%	+15%	+18%	+22%

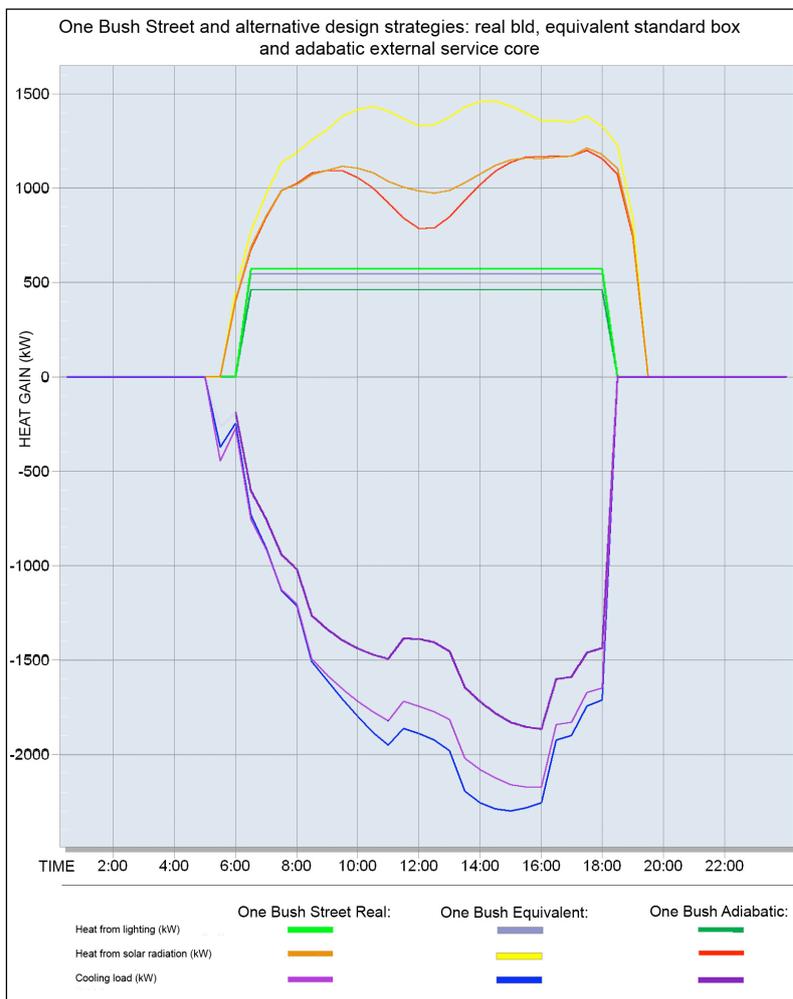
corrispondente alla riduzione del rapporto NRA / GFA e incrementa, di conseguenza, il volume totale che deve essere climatizzato, illuminato e mantenuto. Un altro punto importante che incide negativamente sull'*embodied energy* è dato dall'aumento del perimetro totale e, di conseguenza, della superficie dell'involucro poiché il curtain wall del grattacielo è costituito da materiali ad alto contenuto di energia, quali vetro e alluminio. Gli incrementi riscontrati negli edifici analizzati sono compresi tra il 15 e il 20% del corrispondente edificio standard. Questi risultati, se rapportati al valore dell'*embodied energy* di un edificio alto, possono far capire quale sia l'incidenza che la scelta architettonica di posizionare il *service core* esternamente ha nei confronti della sostenibilità del grattacielo.



Img. 13.01 & 13.02 - Il One Bush Plaza di San Francisco ha un service core completamente esterno al corpo di fabbrica principale. Il service core, pur non essendo stato pensato esplicitamente per questo scopo, svolge comunque una funzione di ombreggiamento, riparando il lato sud dell'edificio dall'azione diretta dei raggi del sole.



I risparmi energetici per il condizionamento dell'aria che un *service core* esterno è in grado di fornire consistono in un valore di picco compreso tra il 92,1% e l'81,5% rispetto a un edificio tradizionale. La simulazione da cui sono stati desunti questi dati¹ prevede però il controllo delle sole prestazioni energetiche riferite all'involucro e all'ombreggiamento della radiazione solare. La simulazione non tiene invece conto dei consumi interni dell'edificio dovuti alla necessità di illuminazione e climatizzazione che, a causa delle aumentate dimensioni dell'edificio, riducono l'effettiva efficienza della soluzione adottata. Inoltre si deve considerare il fatto che l'efficacia dell'ombreggiamento viene diminuita dalle minori prestazioni dell'involucro. Come hanno dimostrato le simulazioni eseguite con il foglio di calcolo per gli edifici posti a New York e Houston infatti, la percentuale di radiazione solare che entra tramite le superfici vetrate risulta meno influente di altre voci. Per comprendere gli effetti prodotti sui consumi e sull'*embodied energy* di un grattacielo in base a diverse soluzioni progettuali, sono state eseguite dall'autore della presente ricerca delle simulazioni su edifici caratterizzati ciascuno da un differente posizionamento del *service core*. È stato preso come caso di riferimento il One Bush Street di San Francisco, edificio già descritto in precedenza.



Img. 13.03 - La simulazione compiuta utilizzando i software Design Builder Evaluation ed Energy Plus evidenzia il diverso comportamento del One Bush Street e degli edifici a cui è stato confrontato: l'edificio equivalente (stessa superficie utile ma service core centrale e stesse proporzioni lunghezza/larghezza della pianta) e con un edificio analogo al One Bush reale ma in cui il service core esterno funziona come un corpo adiabatico. I dati analizzati riguardano l'apporto di calore dovuto all'illuminazione, l'apporto di calore dovuto alla radiazione solare e il carico di raffreddamento richiesto all'impianto di condizionamento. Le prestazioni migliori sono ovviamente fornite dall'edificio con service core adiabatico, dove è minore il volume totale da climatizzare e dove il corpo esterno funziona effettivamente come volume ombreggiante. Le prestazioni dell'edificio equivalente, somigliante alle normali "scatole di vetro" ottiene le prestazioni peggiori.

Tab. 13.02 - I risultati della simulazione sono stati inseriti nel foglio di calcolo per completare l'analisi con le voci di consumo specifiche di un edificio alto.

Dall'analisi risulta che il risparmio di energia ottenuto tramite la diversa collocazione del service core è del tutto marginale rispetto all'entità dei consumi di un edificio alto. I positivi effetti evidenziati dalla simulazione con Energy Plus vengono infatti mitigati dalle altre voci, non modificabili, che compongono il quadro totale dei consumi, come i consumi degli ascensori, delle apparecchiature da ufficio ecc. (D.T.)

		Se me stre	Riscal dame nto	Raffre scam ento	Torri di evapo razion	Umidi ficazi one	Acqu a calda	Ventil atori	Pomp e	Luci	Appar ecchi ature	Ascen sori	Consu mo MW
Edificio 1: One Bush Street	Inv	22,5%	4,0%	0,2%	0,0%	5,3%	17,6%	0,4%	18,3%	27,7%	4,1%	3750	
	Est	11,0%	15,7%	0,8%	0,0%	4,9%	19,6%	1,2%	17,2%	25,7%	3,8%		
	Tot	16,7%	9,9%	0,5%	0,0%	5,1%	18,6%	0,8%	17,7%	26,7%	4,0%		
Edificio 2: Standard con service core centrale	Inv	22,5%	4,0%	0,2%	0,0%	5,3%	17,4%	0,4%	17,8%	28,1%	4,2%	3648	
	Est	11,1%	15,9%	0,8%	0,0%	5,0%	19,4%	1,2%	16,7%	26,1%	3,9%		
	Tot	16,8%	10,0%	0,5%	0,0%	5,2%	18,4%	0,8%	17,2%	27,1%	4,0%		
Edificio 3: Service core non climatizzato	Inv	23,1%	3,7%	0,2%	0,0%	5,6%	15,7%	0,4%	17,6%	29,4%	4,4%	3454	
	Est	11,9%	15,3%	0,8%	0,0%	5,3%	17,6%	1,2%	16,2%	27,7%	4,1%		
	Tot	17,5%	9,5%	0,5%	0,0%	5,4%	16,7%	0,8%	16,9%	28,5%	4,2%		

Le simulazioni sono state eseguite con il software Energy Plus contenuto all'interno del simulatore grafico Design Builder versione Evaluation 1.2.2

I tre edifici simulati presentano le seguenti caratteristiche:

! *Edificio 1: riproduce le caratteristiche generali del grattacielo realmente esistente;*

! *Edificio 2: è un edificio "standard" avente proporzioni simili a quelle del One Bush Street, con la medesima NRA ma con il service core in posizione centrale;*

! *Edificio 3: ha la stessa forma e dimensioni del One Bush Street ma il service core viene trattato come un volume indipendente non climatizzato.*

La simulazione, effettuata valutando il consumo di energia durante la giornata tipica estiva, mira a quantificare l'apporto solare, il fabbisogno di illuminazione interna e il consumo dovuto al raffrescamento dell'edificio.

I risultati rispettano le aspettative dell'autore: il peggiore *output* della simulazione è dato all'Edificio 2, quello "standardizzato"; le prestazioni migliori sono dell'edificio dotato di *service core* non climatizzato mentre il One Bush Street reale si colloca in posizione intermedia. Il risultato dell'Edificio 2 è comprensibile considerando il minore volume totale che necessita la climatizzazione. Il *service core* esterno non climatizzato agisce realmente, infatti, come un elemento ombreggiante e i benefici sono percepibili anche nel blocco edilizio contenente gli uffici.

I dati ottenuti sulla radiazione solare e sui consumi dovuti al raffrescamento sono poi stati riutilizzati all'interno del foglio di calcolo dei consumi generali di un grattacielo; aggiungendo a questi anche i consumi delle altre voci analizzate dal foglio di calcolo si è modificata la soluzione precedentemente riscontrata.

! *L'Edificio 1, il One Bush Street reale, ha invece peggiorato la sua posizione, diventando l'edificio meno efficiente dei tre analizzati.*

! *L'Edificio 2, la "scatola di vetro" con service core centrale, ha un comportamento migliore rispetto alla costruzione reale, grazie a una minore*

	Edificio 1	Edificio 2	Edificio 3
Consumo annuale GWh	3,75	3,648	3,454
Embodied energy GWh	212,3	199,8	212,3
"Break even" anni	-	-	64

superficie disperdente e a una minore GFA (dovuta a un rapporto NRA / GFA più alto).

! L'Edificio 3, pur rimanendo il più efficiente, ha però parzialmente ridotto il suo margine relativo, a causa della grande incidenza di alcune voci "fisse" come per esempio gli ascensori o le apparecchiature interne.

Il fatto che il *service core* possa beneficiare di una ventilazione completamente naturale non viene solitamente considerato dalla letteratura, eccetto che da Yeang². Il *service core* infatti, rappresentando un elemento di mediazione tra l'ambiente esterno e quello climatizzato interno può essere considerato, anche dal punto di vista termico, un ambiente di transizione. All'interno del *service core* non climatizzato l'inerzia termica dei materiali costituisce di per se un elemento sufficiente per garantire delle condizioni di comfort accettabili durante i mesi invernali. Un ulteriore fattore positivo, non misurabile dal software Energy Plus, è l'eliminazione dei carichi termici dovuti al funzionamento stesso del *service core*, in particolare relativi agli ascensori e ai servizi igienici. La dispersione di questi apporti tramite la ventilazione naturale consente infatti una riduzione dei consumi per la ventilazione e il condizionamento. Tuttavia, in presenza di un sistema che permette di utilizzare per il raffreddamento delle aree centrali l'aria proveniente dall'esterno, l'effetto positivo sui consumi è marginale e il risparmio è unicamente dovuto alla minore volumetria da climatizzare.

Il posizionamento del *service core* incide in maniera parziale solo su alcune delle voci del fabbisogno energetico, lasciandone invariate molte tra le quali, ovviamente, i consumi delle apparecchiature interne, degli ascensori, quelli per la produzione e il pompaggio dell'acqua calda sanitaria ecc. In ragione dell'aumento del perimetro rispetto alla superficie utile, una marginale incidenza può essere riscontrata sui consumi dell'illuminazione, qualora sia però presente un sensore che ne regoli il funzionamento in base alla luce naturale. Per lo stesso motivo però, l'edificio è maggiormente soggetto all'influenza delle infiltrazioni d'aria e alle dispersioni termiche attraverso l'involucro.

Il calcolo dell'*embodied energy*, ottenuto utilizzando i dati disponibili della Swiss Re Tower, permette di valutare l'effettiva efficacia, in termini di sostenibilità, delle linee progettuali intraprese. L'*embodied energy* del One Bush Street viene valutata in rapporto alla superficie totale dell'edificio, utilizzando il valore specifico desunto dalla Swiss Re Tower. Sebbene i due grattacieli abbiano un sistema strutturale diverso, le analisi

Tab. 13.03 - Confrontando i dati del consumo annuale e dell'*embodied energy* dei tre edifici risulta evidente che la strategia di posizionare il *service core* all'esterno dell'edificio si rivela, dal punto di vista dell'energia totale, inefficace. Anche considerando l'edificio 3, quello con il *service core* esterno climatizzato naturalmente, il risparmio di energia generato è in grado di compensare per l'aumentata *embodied energy* solo dopo un lasso di tempo molto lungo. Questo risultato dimostra ancora una volta l'attenzione che deve porre il progettista nei confronti delle scelte intraprese per ridurre i consumi d'uso di un grattacielo: un aumento, anche minimo, dell'*embodied energy* dell'edificio è in grado di rendere vano, sotto il profilo energetico, anche le più brillanti intuizioni (D.T.)

precedentemente condotte hanno dimostrato tuttavia che, per costruzioni di soli 20 piani, l'incidenza relativa del sistema portante è del tutto marginale.

Un bilancio inatteso

L'analisi condotta ha messo in evidenza, pur con tutte le semplificazioni segnalate, un fatto inatteso che contrasta con l'opinione comune e con le convinzioni che l'autore stesso aveva prima di iniziare la ricerca. Lo spostamento del *service core* all'esterno dell'edificio, azione considerata da molti come un elemento positivo nella riduzione dei consumi energetici è invece, alla luce dei risultati ottenuti, responsabile di un aumento del fabbisogno energetico totale del grattacielo, comprendendo sia l'energia impiegata per la sua costruzione, sia quella derivante dal suo uso, calcolata sul ciclo medio di vita. Le motivazioni che stanno alla base della errata percezione dei suoi effetti sono da ricercare in un approccio monodisciplinare all'argomento di studio, che non può pertanto tenere in adeguata considerazione tutte le variabili collegate al funzionamento di un *service core*. Inoltre la mancata considerazione dell'*embodied energy* dell'edificio, e delle conseguenze che su di essa hanno le scelte progettuali di organizzazione del *service core*, porta a un ulteriore aggravio degli effetti negativi di una sua errata progettazione.

Richiamando la citazione del testo di Peter Buchanan fatta in precedenza, paradossalmente e generalizzando, ci si potrebbe porre un interrogativo: "le torri post-miesiane, le monofunzionali estrusioni verticali rivestite di vetri scuri o specchiati, (...) erano efficienti nel senso più stretto del termine, massimizzando l'area affittabile rispetto alla superficie costruita e minimizzando la superficie dell'involucro rispetto alla superficie utile. (...) Queste torri, che segnano il punto più basso dell'architettura di tutti i tempi"³... erano poi così male?

¹ Puteri Shireen Jahnkassim, Kenneth Ip, "Linking bioclimatic theory and environmental performance in its climatic and cultural context – an analysis into the tropical highrises of Ken Yeang", Atti del convegno internazionale: *PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006*, a cura di Compagnon A., et al., (Ginevra: Plea, 2006).

² Yeang, K. (1991), *Designing the green skyscraper*, in *Habitat intl* vol 15, Pergamon Press, London

³ Buchanan Peter. "Reinventing the Sky-Scraper.", *A and U.*, numero 329, (1998)



Conclusioni



I risultati dell'analisi

Il grattacielo: attenzioni particolari per un edificio particolare

Nonostante l'industrializzazione del mondo delle costruzioni abbia fatto progressi considerevoli negli ultimi decenni, ogni edificio può ancora essere considerato, in sostanza, come un "pezzo unico" caratterizzato da una propria dimensione, da particolarità spaziali o costruttive, da un preciso uso dei materiali, ecc. A questo oggetto "unico" si possono però applicare le regole generali dell'architettura che ne condizionano in parte l'aspetto formale, il funzionamento tecnologico e la gestione.

Un grattacielo è una tipologia edilizia a se stante che è soggetta, oltre alle regole dell'architettura comuni alle altre tipologie, anche a regole proprie, specifiche della condizione stessa di essere grattacielo. Queste regole speciali devono essere conosciute con attenzione sia, ovviamente, da chi redige il progetto sia possibilmente anche da chi osserva, interpreta e giudica un edificio alto.

Una legge fondamentale dei grattacieli può essere considerata un'estensione¹ del concetto di *premium for height* formalizzato da Khan. Così come il peso del sistema strutturale, moltissimi dei parametri che descrivono un grattacielo crescono in maniera più che proporzionale al numero di piani a mano a mano che aumenta il suo sviluppo verticale.

Oltre al sistema strutturale, il cui aumento d'importanza è dovuto alla esponenziale crescita dei carichi orizzontali generati da vento e sismi, il principale parametro responsabile di un aumento esponenziale dei costi di un grattacielo è dato dal rapporto di efficienza nell'uso dello spazio. La superficie utile (NRA) è infatti ridotta dalla crescente importanza degli spazi destinati al sistema portante ma, soprattutto, delle complesse reti di servizi necessarie all'accessibilità e al funzionamento del grattacielo.

La definizione di edificio alto adottata è dunque facilmente comprensibile se la si considera all'interno di quest'ottica di analisi, riconoscendo cioè all'altezza un ruolo fondamentale nella determinazione dei principali parametri della costruzione, sia durante le fasi di progettazione (forma, architettura, struttura, impiantistica ecc.), sia durante il funzionamento (gestione, sicurezza, evacuazione).

La realizzazione di un grattacielo comporta quindi una riflessione sulle caratteristiche della sua costruzione legate al concetto di altezza e sulle conseguenze che questa provoca in termini di uso dei materiali e delle risorse energetiche.

Con la presa di coscienza delle mutazioni climatiche generate dall'inquinamento prodotto dalle attività umane è necessario, al giorno

d'oggi, estendere anche agli edifici alti i principi di una progettazione e di un uso degli immobili attento alle tematiche ambientali. Facendo questo non bisogna però dimenticare le specificità del grattacielo incorrendo così nell'errore, purtroppo abbastanza diffuso, del voler applicare a questa tipologia edilizia gli stessi principi di costruzione sviluppati nell'ambito di quelle più tradizionali. L'analisi effettuata ha infatti permesso di evidenziare la sostanziale differenza di importanza esistente tra i consumi di energia di un grattacielo e il valore della sua *embodied energy*.

La ragione che spinge alla costruzione di un qualsivoglia edificio è il soddisfacimento dell'esigenza dell'utenza di poter disporre di uno spazio, rispondente a determinate caratteristiche, per potervi svolgere le attività più diverse. In questi termini l'edificio non sarà sfruttabile nella sua interezza e sarà pertanto necessario effettuare una divisione tra la superficie utile, effettivamente utilizzabile per lo scopo principale, e una superficie servente, non direttamente destinata alla funzione principale dell'edificio ma comunque indispensabile al suo funzionamento, alla fruibilità degli altri spazi, ecc. Tale suddivisione tra superficie utile e superficie servente è presente in tutte le tipologie di edificio ma assume nei grattacieli, come si è visto, una rilevanza particolare.

E' quindi possibile creare un indicatore che sintetizzi l'*embodied energy* per unità di superficie utile di un edificio; questo indicatore, necessario per ottenere un dato omogeneo che permetta il confronto tra edifici appartenenti a tipologie edilizie diverse, sottolinea le notevoli ricadute negative derivanti dalla costruzione in altezza. Per esempio, in un fabbricato avente una sola destinazione d'uso collocata al piano terreno (un capannone industriale, una casa unifamiliare, un garage), la quasi totalità dello spazio costruito potrà essere destinato agli scopi per i quali è stato edificato. Inoltre, dato il suo modesto sviluppo verticale, questo avrà probabilmente una struttura portante molto semplice. A meno del massiccio impiego di materiali particolari, l'indice di *embodied energy* per unità di superficie di questi esempi sarà molto basso.

Nel caso di un edificio alto, i due fattori precedentemente descritti giocano invece un ruolo fortemente negativo, aumentando sensibilmente il valore dell'indice. Ogni unità di superficie utile deve infatti farsi carico dell'*embodied energy* dei materiali della struttura portante, la cui incidenza cresce secondo le regole del *premium for height*. Inoltre, la superficie utile dovrà farsi carico anche dell'*embodied energy* degli spazi occupati dal *service core* dell'edificio. Entrambi i fattori, la cui importanza aumenta esponenzialmente al crescere dell'altezza del grattacielo, rendono l'edificio alto una tipologia edilizia, da questo punto di vista, estremamente poco efficiente.

In base a queste considerazioni risulta chiaro come lo sforzo dei progettisti di grattacieli dovrebbe concentrarsi, oltre che sulla riduzione dei consumi d'uso, anche, o forse soprattutto, sulla riduzione della sua *embodied energy*. Numerosi studi cercano oggi di concentrarsi sul raggiungimento di un elevato livello di efficienza energetica, sia della costruzione nel suo complesso sia dei suoi sotto elementi. Alcuni di questi si trasformano poi in applicazioni pratiche che vengono sempre più frequentemente utilizzate per la realizzazione dei moderni grattacieli.

Le strategie commerciali che presiedono allo sviluppo dei progetti di queste dimensioni puntano, oramai da alcuni anni, sull'efficienza energetica come elemento di comunicazione in grado di aumentare il valore percepito dell'edificio e, di conseguenza, la sua appetibilità sul mercato immobiliare. Il raggiungimento delle certificazioni di sostenibilità (LEED primo fra tutti) è il sistema più immediato per testimoniare un approccio progettuale attento alle tematiche, oramai dominanti, della "sostenibilità". Gli sforzi compiuti dai progettisti puntano dunque a percorrere le due principali strategie disponibili per migliorare il bilancio energetico dei grattacieli: la riduzione dei consumi energetici e la produzione in situ di energia a partire da fonti rinnovabili.

Spesso però, viene prestata poca attenzione alle ricadute negative che molte di queste soluzioni hanno sull'*embodied energy* totale creando quindi, di fatto, un aumento del fabbisogno di energia necessario durante il ciclo di vita del fabbricato.

L'importanza del dialogo tra i progettisti e il ruolo fondamentale dell'architetto

Come si è detto, la progettazione di un grattacielo comporta l'azione simultanea di un complesso gruppo di professionisti appartenenti a numerosi ambiti disciplinari differenti. Il ruolo di coordinamento generale è però in mano a una figura singola, generalmente un architetto, responsabile anche della predisposizione del progetto architettonico complessivo.

Le scelte che egli compie, specie se l'affidamento dell'incarico avviene in base all'esito di un concorso di idee, influenzano in modo spesso determinante l'intero processo di progettazione e costruzione. E' dunque importante che tale figura conosca i principi fondamentali del funzionamento di questa tipologia, sia dal punto di vista strutturale, sia dal punto di vista meccanico-impiantistico.

Molto spesso la progettazione di un grattacielo assomiglia alla realizzazione di un oggetto di design e l'edificio viene inteso come una gigantesca scultura molto curata dal punto di vista formale e volumetrico ma "non progettata" come edificio. Gli aspetti che invece sfuggono alla diretta conoscenza dell'architetto (cioè quelli maggiormente legati alle questioni

strutturali e ai vincoli impiantistici) vengono spesso ignorati o percepiti come un “fastidioso contrattempo” da risolvere in un secondo momento. Uno dei casi esemplificativi di questo *empasse* progettuale è dato da un trend diffusosi recentemente nel mercato edilizio di alcune economie in forte espansione: le *vision*. Una *vision* è una proposta progettuale che un architetto formula indipendentemente dall'esistenza di un committente e che viene poi presentata ai potenziali acquirenti come investimento immobiliare. Un esempio molto rappresentativo di questa tendenza è fornito dalla Torre Rotante dello studio Dynamic. Il progetto, presentato per la prima volta nel 2006, è ancora alla ricerca di un acquirente disposto a investire le somme necessarie per la sua completa ingegnerizzazione. Dalla sua prima comparsa vi sono state numerose evoluzioni e adattamenti, volti ad avvicinare la *vision* iniziale alle aspettative dei potenziali committenti; attualmente sono in corso delle trattative con imprenditori di vari Paesi (Dubai, Russia, Cina, Italia) ma un accordo definitivo non è ancora stato raggiunto. Nonostante le numerose migliorie apportate all'idea iniziale sussistono ancora delle scelte architettoniche e costruttive che, se dovessero trasformarsi da progetto a realtà, porterebbero ad alcune complicazioni tecnologiche di difficile, o per lo meno costosa, soluzione.

Per catturare l'attenzione dei potenziali acquirenti la *vision* si presenta di solito come un progetto utopistico, spesso oltre i limiti non solo della realizzabilità tecnica, ma addirittura della fantasia. A causa dell'imprevedibilità del suo successo e delle limitate possibilità di una sua realizzazione, una *vision* è spesso concepita, nell'arco di un breve periodo, all'interno di uno studio alla ricerca di commesse. Il progetto è quindi curato solo relativamente all'aspetto architettonico, mentre le sue componenti tecniche vengono generalmente solo abbozzate.

Finché la *vision* resta un esercizio di stile nel puro ambito concettuale, essa può essere considerata come un esperimento, più o meno interessante, per proporre nuove idee o approcci avveniristici alla costruzione; quando però questa trova un cliente e deve quindi trasformarsi in realtà, devono essere escogitati gli espedienti per colmare le lacune iniziali del progetto. Poiché l'aspetto architettonico è, di fatto, il solo “vincolo” di contratto sulla base del quale uno sviluppatore immobiliare acquista i diritti di costruzione, gli sforzi del progettista devono essere indirizzati a trasformare in realtà i tratti salienti e le idee “forti” della *vision*.

Qualora questa fosse caratterizzata da una geometria particolare, le problematiche si rivelano particolarmente ardue da risolvere. Grazie alle capacità dei moderni software di calcolo e all'approfondita conoscenza delle caratteristiche dei materiali è possibile risolvere quasi tutte le “stranezze” strutturali immaginate dalla *vision* e risolvere le questioni meccaniche e

impiantistiche più complesse. La facilità di adattamento delle componenti costruttive al progetto architettonico-volumetrico si ripercuotono però sia sui costi finali della progettazione e realizzazione, sia sulle quantità di materiali (strutturali e non) impiegate per trasformare il progetto in un edificio reale.

Osservando molti grattacieli recenti, sviluppati a partire da *vision* particolarmente "ardite", è possibile riscontrare, al di là dei giudizi estetici, delle grandi incongruenze tecnologiche o, ancora più spesso, uno scriteriato dispendio di materiali.

La semplicità del progetto e l'ordine di importanza delle scelte

A differenza di quanto accade frequentemente, la conoscenza approfondita dei vincoli tecnologici impliciti nella realizzazione di un grattacielo dovrebbe invece permettere la predisposizione di progetti, anche complessi e fortemente caratterizzati, costruiti però seguendo una sorta di "saggezza" progettuale che pare spesso perduta da molti architetti.

È stato più volte posto l'accento sulla forte caratterizzazione tecnologica del progetto di un grattacielo, sull'importanza degli aspetti strutturali e trasportistici insiti nella natura stessa di questa tipologia. È fondamentale che tale grado di "tecnicità" venga integrato nel progetto fin dalle fasi iniziali di definizione volumetrica della struttura. Anche gli elementi meno architettonici di un grattacielo possono, infatti, diventare una componente fondamentale della sua immagine finale. Inoltre, l'attenzione prestata agli elementi più importanti e voluminosi (quali struttura e servizi di trasporto) fin dalla nascita dell'idea progettuale, ne può rendere possibile una migliore integrazione e mimetizzazione all'interno del disegno architettonico, sia alla scala compositiva che a quella del dettaglio costruttivo.

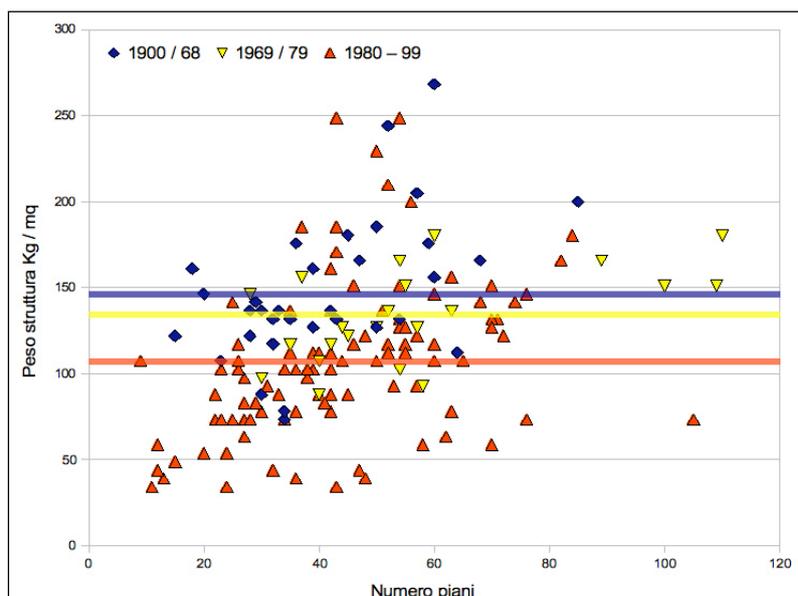
La struttura a tubo controventato del John Hancock Center, i cavedi di ventilazione del 30St. Mary Axe e il *service core* esterno del complesso Poly sono solo alcuni tra i numerosi esempi di progettazione integrata che hanno prodotto degli edifici molto validi sia dal punto di vista architettonico che da quello funzionale. Questi progetti sono accomunati da una fondamentale caratteristica: la chiarezza degli obiettivi e degli intenti progettuali che hanno indirizzato le scelte degli esperti delle varie discipline coinvolte.

Gli aspetti energetici trattati, estesi all'intero ciclo di vita dell'edificio, hanno evidenziato il peso che alcune soluzioni progettuali hanno nel bilancio energetico di un grattacielo. In particolare, la riduzione dell'*embodied energy* deve essere considerata prioritaria durante tutte le fasi di sviluppo del progetto: dall'utilizzo di sistemi e materiali strutturali idonei al controllo della volumetria e dell'efficienza d'uso degli spazi (NRA / GFA), dalla definizione della tipologia di involucro alla scelta dei materiali di finitura e di molti altri aspetti solo apparentemente secondari.

Osservando i grattacieli più recenti è possibile notare un tendenziale aumento della complessità generale dei progetti: volumetrie più ricercate, involucri maggiormente stratificati, aggiunte di elementi “decorativi” spesso superflui, ecc. Le addizioni e le “complicazioni” apportate sono a volte dettate dalla necessità di adattarsi alle normative sempre più stringenti o dal tentativo di andare incontro alle mutevoli e crescenti richieste dell’utenza finale. Tuttavia, gli stessi risultati positivi potrebbero forse essere raggiunti probabilmente tramite la concezione di un progetto più semplice il cui valore, non solo economico, non sia dato solo dalla quantità e dal pregio dei materiali utilizzati, quanto piuttosto da una maggiore attività di progettazione. Molto spesso il raggiungimento delle prestazioni auspiccate è ottenuto infatti tramite l’addizione di elementi e di materiali quando potrebbe essere raggiunto, per esempio, attraverso un impiego più sapiente delle tecniche costruttive e una più critica conoscenza scientifica dei processi e dei meccanismi che stanno alla base dell’architettura.

Sulla strada della sesta generazione di grattacieli

L’analisi storica condotta sui grattacieli ha permesso di suddividere l’evoluzione di questa tipologia edilizia in 5 successive “generazioni” classificate in base alle caratteristiche dei consumi energetici degli edifici costruiti nelle varie epoche. In base alle indagini effettuate è stata dimostrata la corrispondenza esistente tra i consumi del grattacielo e le sue caratteristiche volumetriche e tecnologiche, riferite in particolare alla tipologia dell’involucro e alle dotazioni impiantistiche in funzione. I consumi degli edifici, da un valore molto basso dei primi anni del XX secolo, aumentarono progressivamente fino alle crisi petrolifere degli anni '70 quando, in conseguenza delle normative introdotte e delle esigenze di economicità d’uso motivate dall’elevato prezzo dei carburanti, essi subirono un notevole calo. Il consumo totale di un grattacielo rimase comunque elevato a causa della progressiva diffusione delle apparecchiature elettroniche e dei conseguenti carichi termici generati all’interno degli edifici. Solo a partire dagli anni '90, grazie alla diffusione del “movimento” della sostenibilità, anche i consumi delle apparecchiature elettroniche iniziarono a contrarsi. Questo consentì, unitamente alla nascita di una seconda generazione di edifici progettati con una particolare attenzione alla riduzione del loro fabbisogno di energia, di raggiungere i risultati di efficienza oggi riscontrabili in alcuni grattacieli-modello. Cercando tuttavia di tracciare l’andamento dell’*embodied energy* di questa tipologia edilizia è possibile riscontrare un andamento inverso rispetto a un ipotetico grafico dei consumi. I primi grattacieli infatti, come si è visto, erano caratterizzati da una costruzione particolarmente massiccia dovuta sia alle caratteristiche

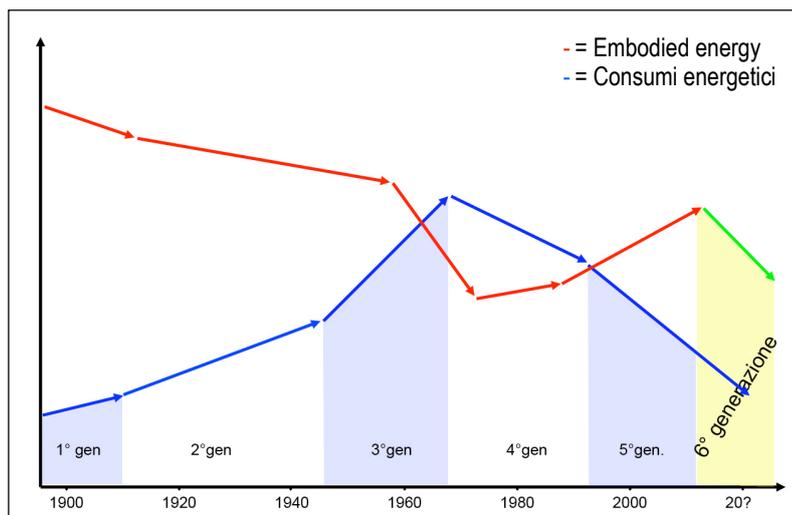


dell'involucro, spesso realizzato con consistenti spessori di mattoni, decorazioni in terracotta o pietra da taglio, sia per la sovrabbondanza dei materiali utilizzati per le strutture portanti, dovuta alla relativa inefficienza degli schemi statici utilizzati. Dal dopoguerra in poi, e in particolare a partire dagli anni '60 vennero creati degli schemi strutturali più evoluti, che consentirono una notevole riduzione delle quantità di materiali utilizzati (generalmente acciaio). Parallelamente, con l'avvento dell'International Style, si diffuse un nuovo stile architettonico: la sostituzione delle opache chiusure in laterizio con moderni e leggeri *curtain wall* vetrati, l'abbandono di ogni forma di decorazione e l'adozione di uno stile caratterizzato da geometrie più sobrie, improntate a un ferreo utilitarismo, contribuirono a ridurre ulteriormente il quantitativo di materiali utilizzati e, quindi, l'*embodied energy* complessiva. Il raggiungimento del livello minimo di energia immagazzinata nei materiali di un grattacielo corrisponde, forse non a caso, con il periodo del massimo consumo energetico della terza generazione: la semplicità tecnologica e costruttiva degli edifici degli anni '60 e '70, chiusi da sottili involucri vetrati, riduceva, da un lato, le quantità di materie prime richieste aumentando, dall'altro, la dipendenza dai sistemi meccanici di ventilazione e climatizzazione necessari al mantenimento delle condizioni di comfort interno.

Nel periodo successivo, l'esigenza di ridurre i costi di gestione e i consumi, in conseguenza alle crisi energetiche, portò a un completo ripensamento delle caratteristiche dei grattacieli e alla modifica, come si è visto, della forma, della volumetria, della dotazione impiantistica ma, soprattutto, della tecnologia dell'involucro. Quest'ultimo si trasformò aumentando la complessità e il numero dei suoi elementi: al vetro singolo stratificato di molti edifici di Mies van der Rohe si sostituì presto il vetrocamera isolato, dalle prestazioni termiche migliori ma caratterizzato, di fatto, dal raddoppio del quantitativo di materiale utilizzato. A ciò seguirono ancora più complessi

Img. 14.01 - L'affinarsi delle conoscenze sui materiali e sugli schemi strutturali disponibili per i grattacieli (dovuto anche alle crescenti potenze di calcolo dei computer) ha consentito una progressiva riduzione dei quantitativi di materiali utilizzati per la realizzazione delle strutture di elevazione. Questo, al di là di eventuali modifiche ai sistemi di produzione ha consentito una riduzione dell'*embodied energy* immagazzinata all'interno degli elementi strutturali degli edifici. I vantaggi ottenuti, sono stati tuttavia resi vani dal notevole aumento di complessità dei sistemi di involucro e delle finiture interne. (D.T.)

Img. 14.02 - La riduzione dei consumi energetici dei grattacieli, così come in molte altre tipologie edilizie, è stata spesso ottenuta tramite l' "aggiunta" di materiali. L'unità tecnologica che ha subito i maggiori cambiamenti è stata quella delle chiusure verticali. Dai semplici vetri a singolo strato dei grattacieli delle prime tre generazioni si è passati alle complesse chiusure multistrato della quinta generazione, caratterizzate da involucri molto complessi. In futuro, la sesta generazione di grattacieli sarà quella che riuscirà a coniugare una riduzione dell'*embodied energy* al mantenimento di bassi livelli di consumi energetici, portando così una riduzione generale del fabbisogno del grattacielo durante il suo intero ciclo di vita. (D.T.)



involucri a doppia pelle, schermature esterne, brise soleil mobili ecc. Ognuna di queste modifiche ha portato, in cambio di un più o meno marcato miglioramento del controllo climatico interno, un progressivo incremento della *embodied energy* totale del grattacielo.

Sovrapponendo dunque i grafici relativi all'*embodied energy* e quelli relativi all'energia di funzionamento dell'edificio si può notare che a una diminuzione del primo corrisponde, sostanzialmente, un aumento del secondo. Questa tendenza, se da un lato ha consentito di raggiungere migliori prestazioni termoclimatiche e un minor consumo di energia durante la fase d'uso del grattacielo (spesso tradotto in un minor costo di gestione) ha, dall'altro, provocato un aumento della sua *embodied energy* e del costo totale.

La sostenibilità, come detto, non si limita al semplice concetto di riduzione dei consumi d'uso, ma nemmeno a quello di riduzione dell'*embodied energy*: non è dunque solo in questo quadro che si deve valutare la sostenibilità di una costruzione, ma devono essere considerati anche i rapporti che questa produce con il contesto, la percezione di essa che ne hanno i fruitori, le condizioni di lavoro o di vita al suo interno e moltissimi altri parametri difficilmente misurabili. L'International Style ha prodotto degli edifici spesso giudicati inumani, dalle modeste condizioni di comfort interne e dagli elevati consumi di gestione. La loro semplicità distributiva e tecnologica li rendeva però degli ottimi esempi di efficienza progettuale dai quali è forse possibile attingere ancora molti preziosi insegnamenti.

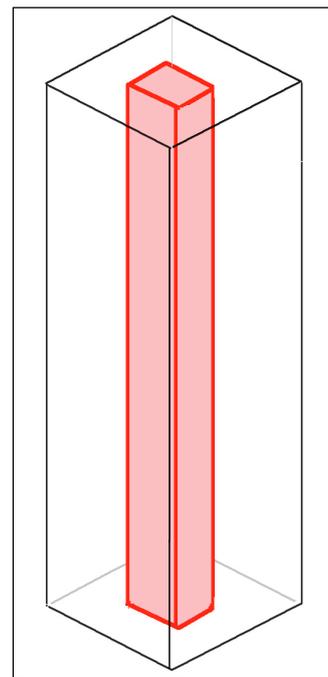
Le esigenze economiche legate all'aumento del prezzo di molte materie prime unite forse allo sviluppo di un pensiero più maturo sulla tematica della sostenibilità saranno forse i fattori determinanti per rallentare la crescita della complessità costruttiva dei grattacieli e, magari, dare inizio a una progressiva riduzione della loro *embodied energy*. Non potendo prescindere comunque dalla necessità di una continua riduzione dei consumi, la caratteristica distintiva della prossima generazione di grattacieli sarà dunque costituita, auspicabilmente, dal ritorno ad architetture più semplici, che

esprimano il loro valore attraverso l'accuratezza della progettazione, la proporzione delle forme e il sapiente uso dei materiali piuttosto che tramite l'esasperata ricerca del record, la forma inconsueta o l'opulenza dei materiali.

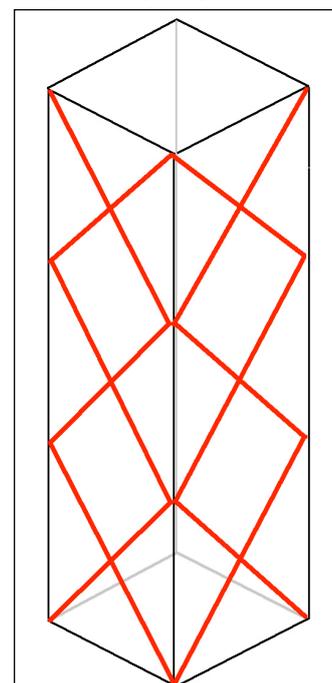
Conclusioni

L'indagine svolta ha permesso di evidenziare alcune delle caratteristiche che un edificio alto, e in particolare il suo *service core*, dovrebbero avere per consentire una riduzione del loro fabbisogno di energia durante il loro intero ciclo di vita. In particolare, è stato posto l'accento sul ruolo, spesso sottovalutato, giocato dall'*embodied energy* immagazzinata nei materiali da costruzione e nella cantierizzazione dell'opera. In quest'ottica deve essere accuratamente perseguito l'obiettivo di ridurre la quantità di materiali utilizzati tramite il ricorso a forme semplici che non necessitino di sistemi strutturali eccessivamente complessi. Lo schema strutturale dovrebbe inoltre garantire, anche nei grattacieli dalla forma meno ardita, l'ottimale sfruttamento delle proprietà dei materiali di cui la struttura è costituita. Sono numerosi i motivi che hanno portato alla preponderante diffusione dei sistemi strutturali interni rispetto a quelli esterni. Nonostante una minore efficienza, dovuta al ridotto momento d'inerzia dell'elemento che agisce nei confronti degli sforzi orizzontali, le strutture interne hanno trovato una grande diffusione grazie alla loro economicità costruttiva e al ridotto impatto visivo sull'aspetto del grattacielo. Una maggiore integrazione tra le varie discipline coinvolte dovrebbe portare invece alla migliore integrazione del sistema portante nel progetto del grattacielo: gli schemi esterni infatti, nonostante la necessaria presenza di massicci elementi in prossimità dell'involucro della costruzione, possono diventare, se ben integrati fin dalle prime fasi di sviluppo, degli efficaci elementi compositivi della facciata come vari progetti (Hearst Tower, 30 St Mary Axe, John Hancock Center, ecc.) possono dimostrare.

Un ulteriore punto fondamentale sottolineato è dato dall'efficienza della progettazione espressa dal rapporto NRA / GFA. L'attenta valutazione della configurazione più idonea del sistema di trasporti verticali è, assieme a una generale attenzione dei progettisti all'ottimizzazione dello spazio disponibile, un elemento chiave per il raggiungimento di una buona efficienza d'uso della superficie costruita. In particolare i sistemi più avanzati di gestione degli ascensori possono fornire un prezioso contributo per l'aumento della portata di ogni cabina e, di conseguenza, consentire una riduzione del numero totale di impianti installati. Nonostante i costi iniziali per la fornitura di un sistema più avanzato possano superare notevolmente quelli di un impianto tradizionale, i vantaggi in termini di riduzione dello spazio e le ricadute economiche sul lungo termine (aumento dei ricavi derivanti dalla



Img. 14.03 & 14.04 - Lo schema strutturale di un edificio è, come si è visto, responsabile di una grande percentuale della sua embodied energy. La tradizione costruttiva a privilegiato delle soluzioni interne (in alto) dotando l'edificio di un core strutturale in grado di resistere agli sforzi orizzontali agenti su di esso. Una soluzione strutturale esterna è tuttavia in grado di rispondere alle necessità statiche del grattacielo con un minore quantitativo di materiali. L'assenza del core svincola inoltre il service core dalla posizione centrale, rendendo possibile, per esempio, la ventilazione naturale dei suoi ambienti interni.



maggior superficie affittabile, riduzione dei consumi energetici e dei costi di manutenzione, ecc.) dovrebbero costituire, agli occhi del promotore immobiliare, un investimento ampiamente remunerativo.

Sono state analizzate nel corso della trattazione le numerose ragioni che hanno portato il *service core* ad assumere la sua tradizionale posizione centrale. Nonostante l'indagine effettuata e le simulazioni compiute abbiano parzialmente ridimensionato i benefici, in termini energetici, raggiungibili grazie a una diversa collocazione del *service core*, è tuttavia possibile sfruttare, specie in zone climatiche particolarmente torride, alcuni vantaggi offerti da un suo spostamento verso il perimetro del grattacielo. Le soluzioni progettuali alternative devono però tenere sotto costante verifica gli effetti prodotti da tali modifiche sulla prassi progettuale non solo per quanto riguarda i consumi, ma anche sull'*embodied energy* della costruzione. Il principale vantaggio ottenibile tramite uno spostamento del *service core* lungo il perimetro dell'edificio è rappresentato dal possibile sfruttamento della ventilazione naturale per gli ambienti secondari (bagni, magazzini, vestiboli, ecc.). Inoltre, grazie a una posizione periferica del nucleo contenente i sistemi di trasporto verticale è possibile ridurre gli apporti termici generati dal funzionamento di questa importante componente impiantistica: come si è visto infatti, una grande percentuale dell'energia consumata dal sistema di ascensori si trasforma, di fatto, in calore. Questo calore, che viene rilasciato all'interno dell'edificio a causa degli attriti delle componenti meccaniche, costituisce, sia in regime estivo che invernale, un carico termico quasi sempre in eccesso rispetto al normale fabbisogno del grattacielo e che deve essere smaltito tramite un'adeguata ventilazione forzata o, addirittura, tramite il ricorso al condizionamento dell'aria. La progettazione del *service core* è dunque un punto chiave nella realizzazione di un grattacielo. La rilevanza degli aspetti tecnici coinvolti fa sì che la definizione dei suoi elementi sia spesso affidata ai vari specialisti delle discipline tecniche coinvolte. La sua progettazione dovrebbe tuttavia essere controllata, già dalle fasi iniziali (soprattutto nel caso di concorsi di progettazione o di "*vision*"), anche dall'architetto, avendo il chiaro controllo delle complesse relazioni che tale "aggregato di spazi e di unità tecnologiche" instaura con le altre parti dell'edificio alto.

Tabella riassuntiva dei risultati della ricerca

La ricerca ha prodotto dei risultati utili ad approfondire le conoscenze relative alla progettazione di un *service core*. I principali risultati ottenuti sono riassunti nella seguente tabella.

¹ Dario Trabucco, "Sostenibili? Quanto basta", *Modulo*, numero 343 (2008)

Capitolo	Risultato	Descrizione
2	Individuazione e quantificazione delle principali voci di consumo di un edificio alto	le tabelle presentate, che rappresentano l'incidenza delle varie voci sui consumi di alcuni grattacieli-tipo sono state ottenute tramite un foglio di calcolo. Il modello originale, fornito da Arup, è stato modificato dall'autore per meglio adattarlo ad alcune caratteristiche tipiche dei grattacieli. I dati forniti possono costituire la base numerica di partenza per la realizzazione di ulteriori ricerche
3	Individuazione di 5 generazioni di edifici alti in funzione del loro consumo energetico	la classificazione, realizzata in collaborazione con il prof. Antony Wood e Philip Oldfield del Council On Tall Buildings and Urban Habitat, suddivide i grattacieli in 5 successive generazioni sulla base delle loro caratteristiche tecnologiche e architettoniche. L'analisi dimostra gli effetti delle caratteristiche individuate sui consumi energetici dei grattacieli
4	Quantificazione dell'embodied energy di un edificio alto e rilevanza delle principali voci	l'analisi fornisce una quantificazione dell'energia necessaria alla produzione e alla messa in opera dei materiali necessari alla realizzazione di un grattacielo. La ricerca mette in evidenza il ruolo chiave svolto da due fattori caratteristici degli edifici alti: il premium for height e la progressiva riduzione dello spazio utilizzabile rispetto alla superficie totale costruita (NRA / GFA)
5	Formulazione di una definizione di service core	il service core, l'elemento caratteristico dei grattacieli, viene spesso trascurato dalla progettazione architettonica degli spazi, riducendone l'importanza a "semplice" elemento tecnico. La mancanza di una definizione univoca che ne descriva la complessità delle sue funzioni è solo una delle conseguenze della visione frammentaria che i singoli professionisti coinvolti nella progettazione spesso hanno del service core. La definizione proposta permette di individuare in maniera univoca gli elementi che lo compongono
7	Comprensione dell'origine storica e dell'evoluzione del moderno service core	ripercorrere la storia degli edifici alti analizzando le caratteristiche tecnologiche dei vari elementi che compongono il service core permette di capire le relazioni esistenti tra di loro e le loro ripercussioni sulle altre parti del grattacielo
8	Classificazione delle tipologie di service core esistenti	questa suddivisione schematica permette di analizzare le funzioni che vengono di volta in volta attribuite al service core in base alla sua posizione e volumetria
11	Comprensione del ruolo del service core nell'embodied energy di un edificio alto	i risultati ottenuti permettono di individuare gli aspetti più importanti della progettazione di un service core. Nell'analisi vengono di volta in volta valutate le strategie progettuali da seguire per ridurre l'embodied energy della costruzione
12	Comprensione ruolo del service core nei consumi energetici di un grattacielo	l'analisi suggerisce alcune strategie per ridurre, grazie a una differente progettazione del service core, i consumi energetici di un edificio alto
14	Introduzione di alcuni spunti progettuali per la realizzazione di un service core efficiente	I risultati della tesi vengono riassunti in una serie di suggerimenti volti a informare il progettista sugli effetti che le scelte compiute producono sul bilancio energetico di un edificio alto



Bibliografia

Libri

1. AA.VV., *Emergency evacuation elevator systems guideline*, Chicago: CTBUH, 2004, pagg. 47.
2. Bascomb N., *Higher. A historic race to the sky and the making of a city*, New York: Doubleday, 2003, pagg.342
3. Bergeron L., *Parigi, Il mito di una capitale*, Torino: Einaudi, 1993. pagg. 88.
4. Clarck W. C., Kingston J. L., *The skyscraper: a study in the economic height of modern office building*, Cleveland: American Institute of Steel Construction, 1930, pagg. 164.
5. Edgell G.H., "American Architecture of Today", New York: Charles Scribners Sons. 1928, pagg. 356.
6. Koolhaas R., *Delirious New York : a retroactive manifesto for Manhattan*, Londra: Thames & Hudson, 1978, pagg. 263
7. Lione R., *Ascensori e altri impianti di sollevamento*, Roma: Carocci Editore, 1998. pagg. 203.
8. Pank, W., Girardet, H., Cox, G., *Tall Buildings and sustainability*, London: Faber Maunsell, 2002, pagg. 68.
9. Powell K., *30 St Mary Axe: a tower for London*, London, Merrel, 2006, pagg. 224.
10. Tauranac J., *The Empire State Building*, New York: St. Martin's Griffin, 1995, pagg. 383.
11. Willis C., *Building the Empire State*, New York: Norton & Company, 2007, pagg. 192.
12. Willis C., *Form Follows Finance*, New York: Princeton Architectural Press, 1995, pagg. 224.
13. Yeang K., *Service Cores*, Chichester: Wiley Academy, 2006, pagg. 96

Lavori accademici non pubblicati:

14. Ali M. M., Armstrong P., *Strategies for integrated design of sustainable tall buildings*, Faculty of Architecture at University of Illinois at Urbana - Champaign: AIA Report on University research, 2006, pagg. 22.
15. Enerdemodal Engineering Limited, *Market assesment for energy efficient elevators and escalators, final report*, Ontario: Office of Energy Efficiency, 2004 [report interno]
16. Jafaar M.Z.B., *Design for Egress in Tall Building*, Technology University of Malaysia: 2006, Internal Report, pagg. 91.
17. Kishnani N., *Climate buildings and occupant Expectation*, Curtin University of Technology: 2002, PhD Thesis, pagg: 402.
18. Knight I., Dunn G., *Evaluation of Heat Gains in UK Office Environments*, The Welsh school of Architecture, Cardiff: 2003, Internal Report: pagg.11

19. Meguro W., *Beyond Blue and Red Arrows: Optimizing Natural Ventilation in Large Buildings*. Massachusetts Institute of Technology: 2005, Internal Report, pagg. 140.
20. Pedrini A., *Integration of low energy strategies to early stages of design process of office buildings in warm climate*. University of Queensland: 2003, PhD Thesis, pagg. 274
21. Sachs H.M., *Opportunities for elevator energy efficiency improvements*, Washington: American council for energy efficient Economy, 2005, pagg. 11 [report interno]
22. Siikonen M.L., *Planning and Control Models for Elevators in High-Rise Buildings*, Helsinki University of Technology: 1998, PhD Thesis, pagg. 39.
23. Abada G., *Petronas Office Towers On Site Review Report*, 2004, pagg. 34

Articoli e saggi scientifici:

24. Ali M. M., Moon K.S., "Structural developments in tall buildings: current trends and future prospects", *Architectural Science Review* volume 50, n° 3, 2007: 205-223.
25. Anonimo, "Cool Tribune", *Time Magazine*, Lunedì 10 Luglio 1933
26. Anonimo, "Tribune turns on new cooling system today", *Chicago Daily Tribune*, 10 Giugno 1934
27. Arnold D., "Air Conditioning in Office Building After World War II", *Ashrae Journal*, Luglio, vol. 41, n° 7, pagg. 33-41
28. Babcock H., "Architecture and building economics", *Architectural Forum*, Volume 53, n° 5, maggio 1930: 737-747.
29. Baker C., Editoriale, *Architectural Forum*, Volume 15, n° 6, Dicembre 1915
30. Barney G., "Vertical transportation in Tall Buildings", *Elevator World* volume 51, n°5, 2003: 66-87.
31. Barucco M., Trabucco D., "Patterns of Innovation and Transfer of Technologies in the Tall Building Industry", atti del convegno internazionale: *8th BUHu international conference*, Praga 25 - 28 Giugno 2008
32. Bassett J., "The Empire State Building. VIII Elevators", *Architectural Forum*, volume 54, n° 1, Gennaio 1931: 95-99
33. Battisti A., "Torre sostenibile: Thomas Herzog a Hannover", *Modulo*, n° 264, 2000: 742-746.
34. Beedle L., "Foreword", in *Structural Design of Tall Concrete and Masonry Buildings*, a cura di Reese R.C., MacGregor J.G., Lyse I., CTBUH, Bethlehem, 1978.
35. Blackwell B., *Heights of Building Commission*, New York: Board of Estimate and Apportionment, 1913.
36. Buchanan P., "Reinventing the Sky-Scraper.", *A and U.*, n° 329, febbraio 1998: 30-67.
37. Buchanan P., "The Tower: An Anachronism Awaiting Rebirth?", *Harvard Design Magazine*. N° 26, 2007: 1-5.

38. Clute E., "The Chrysler Building, New York", *Architectural Forum*, volume 53, n° 4, Ottobre 1930: 402-418
39. Corbett H. W., "The planning of Office Buildings", *Architectural Record*, volume 41, 1924: 89-93
40. De Jong J., "Advances in Elevator Technology: Sustainable and Energy Implications", atti del convegno internazionale: *Tall&Green, CTBUH World Congress 2008, Dubai, UAE 2-5 Marzo 2008*, a cura di Wood A., 213-217. Chicago: CTBUH, 2008.
41. Depecker P., Menezo C., "Design of buildings shape and energetic consumption", *Building and Environment*, Volume 36, n° 5, Giugno 2001: 627-635
42. Edwards J., "The Empire State Building: the structural frame", *Architectural Forum*, Volume 53, n° 8, agosto 1930: 241-246.
43. Etheridge D., Ford B., "Natural ventilation of tall buildings – options and limitations", atti del convegno internazionale: *Tall&Green, CTBUH World Congress 2008, Dubai, UAE 2-5 Marzo 2008*, a cura di Wood A., 227 - 232. Chicago: CTBUH, 2008.
44. Ford G., *Building Zones*, New York: Lawyers' Mortgage Co, 1916.
45. Fortner B., "Landmark Reinvented", *Civil Engineering—ASCE volume 76*, n° 4, 2006, 42-49.
46. Fortune J., "Modern double deck elevator applications and theory", *Elevator World*, Agosto, 1996: 64-69.
47. Gompert W., "Planning office buildings for maximum returns", *Record and guide* n° 126, 1930
48. Hakala H., Siikonen M.L., Tyni T., Ylinen J., "Energy-Efficient Elevators for Tall Buildings", atti del convegno internazionale: *cities in the third millennium : 6th World Congress of the Council on Tall Buildings and Urban Habitat, 26 February to 2 March, 2001*, a cura di Beadle L., 559-574 Chicago: Taylor & Francis, 2001.
49. Hood R., "The Design of Rockefeller City", *Architectural Forum*, numero 56, n° 1 1932: 1-32.
50. Howard N., "Building environmental assesment methods: in practice", atti del convegno internazionale: *the 2005 World Sustainable Building Conference. Tokyo, 27-29 Settembre 2005, 2008-2015*. Tokyo: 2005.
51. Howkins R., "Elevator core areas: a comparison of existing structures and those of the future", *Multi-purpose High-rise Towers and Tall Buildings* volume 1, n°3, 1997:115-130.
52. IPCC: Levine, M., D. Ürge-Vorsatz, K. Blok, L. Geng, D. Harvey, S. Lang, G. Levermore, A. Mongameli Mehlwana, S. Mirasgedis, A. Novikova, J. Rilling, H. Yoshino, "Residential and commercial buildings", in *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, a cura di: B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer, Cambridge: Cambridge University Press ,2007: 387-446
53. Jahnkassim P. S., Ip K., "Linking bioclimatic theory and environmental performance in its climatic and cultural context – an analysis into the tropical highrises of Ken Yeang", Atti del convegno internazionale: *PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, 6-8 September 2006*, a cura di Compagnon A., et.al., 309-317. Ginevra: Plea, 2006

54. Kamin B., "Freedom Tower's new design seems monumentally ordinary" *Chicago Tribune* 29 Giungo 2005
55. Khan F., "Recent structural systems in steel for high-rise buildings", atti del convegno internazionale: *the British Constructional Steelwork Association Conference on Steel in Architecture London S.W.1, 24th to 26th November, 1969*. A cura di: British Constructional Steelwork Association, 55-65, London: British Constructional Steelwork Association, 1969.
56. Kunstler J.H., Salinger N.A., "The End Of Tall Buildings", 17 Settembre 2001, <http://www.planetizen.com/node/27>
57. Lamb W., "The Empire State Building: The general design", *Architectural Forum*, volume 54, n° 1, 1931: 1-7.
58. Langdon D., Kalita N., Watts S., "Tall Buildings - Cost model". *Building*, n°17, 2007: 74-80.
59. Lawson, D. "Revolutionary office block transforms London skyline", *Office Trends*, 2003. [www.davidlawson.co.uk]
60. Leung L., Weismantle P., "Burj Dubai stack effect" *CTBUH Journal* volume 6, Autunno, 2007: 8-13.
61. Leung L., Weismantle P., "Sky-sourced sustainability: how supertall buildings can benefit from height", atti del convegno internazionale: *Tall&Green, CTBUH World Congress 2008, Dubai, UAE 2-5 Marzo 2008*, a cura di Wood A., 329-335, Chicago: CTBUH, 2008.
62. Li M., Fushimi M., "The Efficiency Analysis of Skyscrapers based on the inner traffic", *International Transport* volume 4, n° 5 / 6 ,1997: 307-313
63. Linzey, M. P. T., "Optimum lift design for tall buildings", *Building Sciences* volume 8, 1973: 27-32.
64. Mendis P., Ngo T., "9/11: Five Years on - Changes in Tall Building Design?" in *Electronic Journal of Structural Engineering* volume 6, 2006: 80-84.
65. Montpellier A., Rogers B., "The Business Case for Sustainable Office Design", *Urban Land*, Novembre/Dicembre, 2006: 134-141.
66. Moon K.S., "Material-Saving Design Strategies for Tall Building Structures", atti del convegno internazionale: *Tall&Green, CTBUH World Congress 2008, Dubai, UAE 2-5 Marzo 2008*, a cura di Wood A., 135 - 142. Chicago: CTBUH, 2008.
67. Munro D., "Swiss Re's Building, London", *Nyheter om Stalbyggnad* , n°3, 2004: 36-43.
68. Nagengast B., "Early Twentieth Century Air-Conditioning Engineering", *Ashrae Journal*, March, 1999: 55-62
69. North A.T., "Tall Building Egress", *Architectural Forum*, Volume 52, n° 2, Febbraio 1930: 277-280
70. Oldfield P. "Tallest 20 in 2020", *CTBUH Journal*, Autunno, 2007: 28-30.
71. Oldfield P., Trabucco D., Wood A., "Five Energy Generations of Tall Buildings: A Historical Analysis of Energy Consumption in High Rise Buildings", atti del convegno internazionale: *Tall&Green, CTBUH World Congress 2008, Dubai, UAE 2-5 Marzo 2008*, a cura di Wood A., 300 - 310. Chicago: CTBUH, 2008.

72. Osterhaus, W.K.E., "Office lighting: a review of 80 years of standards and recommendations", Atti del convegno internazionale: 1993 *IEEE. Industry Applications Society Annual Meeting, 2-8 Oct 1993*, a cura di AA.VV., pagg: 2365 - 2374. New York: IEEE, 1993
73. Pond I. K., "Zoning and the Architecture of High Buildings", *Architectural Forum*, n° 35, 1921. 133-137
74. Raman M., "Aspects of Energy Consumption in Tall Office Building", *CTBUH Journal* volume 1, n° 3, 2001: 1-10.
75. Safamanesh K., "Menara Mesiniaga, *Technical Review*", 1995: pagg. 9.
76. Sheriff M., Smith P., Weismantle P., "Burj Dubai: An architectural technical design case study", in *Structural Design of Tall and Special Buildings* volume 16, 2007: 335-360.
77. Shreve R., "The Empire State Building Organisation", *Architectural Forum*, volume 52, n° 6, Giugno 1930: 770-774
78. Stein, R. G., "Observations on Energy Use in Buildings", *Journal of Architectural Education* volume 30, n° 3, 1977: 36-41.
79. Trabucco D., "Sostenibili? Quanto basta", *Modulo*, n° 343, Luglio 2008: 696-704
80. Weisman W., "A new view of skyscraper history", in *The rise of an American architecture*, Hitchcock H.R. et al. New York: Pall Mall P., 1970: 115-163
81. Weiss, M., "Skyscraper zoning: New York's pioneering role", *Journal of the American Planning Association* volume 58, n° 2, 1992: 201-213.
82. Willis C., "Zoning and Zeitgeist: The Skyscraper city in the 1920s", *Journal of the society of architectural historians* volume 45, 1986: 47-59.
83. Wood A., Oldfield P., "Bridging the gap: An analysis of proposed evacuation links at height in the World Trade Centre design competition entries", presentato al convegno internazionale: *CTBUH 7th World Congress: Renewing the Urban Landscape, New York, 16th-19th October 2005*.
84. Wood A., "Green or Grey? The Aesthetics of Tall Building Sustainability", atti del convegno internazionale: *Tall&Green, CTBUH World Congress 2008, Dubai, UAE 2-5 Marzo 2008*, a cura di Wood A., 195 - 202. Chicago: CTBUH, 2008.
85. Yeang K., *The skyscraper bioclimatically considered*. Londra: Academy Editions, 1996, pagg. 201
86. Yeang K., "Designing the green Skyscraper", *Habitat Intl.* volume 15, n°3, 1991: 149-166.

Crediti

Indice delle immagini

Le immagini a tutta pagina alle pagine: 5, 6, 19, 20, 36, 46, 58, 71, 72, 76, 92, 110, 130, 141, 142, 154, 168, 184, 196 e 207 sono dell'autore

L'immagine di pagina 176 è stata concessa da Citylife

L'immagine di pagina 183 è di Jacopo Gaspari

Introduzione:

0.01 - Foto dell'autore

Capitolo 1:

1.01 - Foto dell'autore

1.02 - Foto di Umberto Maj, montaggio dell'autore

1.03 - Fonte: www.wikipedia.org

1.04 - Fonte: www.inhabitat.com

1.05 - Fonte: www.wikipedia.org

1.06 - Foto dell'autore

1.07 - Ali M. M., Moon K.S., "Structural developments in tall buildings: current trends and future prospects", *Architectural Science Review* volume 50, n° 3, 2007: 205-223.

1.08 - Immagine dell'autore

1.09 - Shreve R., "The Empire State Building Organisation", *Architectural Forum*, volume 52, n° 6, Giugno 1930: 770-774

Capitolo 2:

2.01 - Immagine dell'autore

Capitolo 3:

3.01 - Barnett J., *An Introduction to Urban Design*. New York: Harper Collins, 1982

3.02 - Oldfield P., Trabucco D., Wood A., "Five Energy Generations of Tall Buildings: A Historical Analysis of Energy Consumption in High Rise Buildings", atti del convegno internazionale: *Tall&Green, CTBUH World Congress 2008, Dubai, UAE 2-5 Marzo 2008*, a cura di Wood A., 300 - 310. Chicago: CTBUH, 2008.

3.03 - foto dell'autore

3.04 - Oldfield P., Trabucco D., Wood A., "Five Energy Generations of Tall Buildings: A Historical Analysis of Energy Consumption in High Rise Buildings", atti del convegno internazionale: *Tall&Green, CTBUH World*

Congress 2008, Dubai, UAE 2-5 Marzo 2008, a cura di Wood A., 300 - 310. Chicago: CTBUH, 2008.

3.05 - ibidem

3.06 - <http://www.defense-92.fr>

3.07 - Foto dell'autore

3.08 - Foto dell'autore

Capitolo 4

4.01 - Immagine dell'autore

4.02 - Sherif M., Smith P., Weismantle P., "Burj Dubai: An architectural technical design case study", in *Structural Design of Tall and Special Buildings* volume 16, 2007: 335-360.

4.03 - Foto dell'autore

4.04 - Immagine dell'autore

4.05 - Immagine dell'autore

4.06 - Edwards J., "The Empire State Building: the structural frame", *Architectural Forum*, Volume 53, n° 8, agosto 1930: 241- 246.

4.07 - Immagine dell'autore

4.08 - Immagine dell'autore

4.09 - Immagine dell'autore

4.10 - Foto dell'autore

4.11 - Foto dell'autore

4.13 - Immagine dell'autore

Capitolo 6

6.01 - Fonte: www.wikipedia.org

6.02 - Fonte: www.wikipedia.org

6.03 - Foto dell'autore

6.04 - Fonte: www.wikipedia.org

6.05 - Immagine dell'autore

6.06 - Ali M. M., Moon K.S., "Structural developments in tall buildings: current trends and future prospects", *Architectural Science Review* volume 50, n° 3, 2007: 205-223

6.07 - Ibidem

Capitolo 7

7.01 - Willis C., *Form Follows Finance*, New York: Princeton Architectural Press, 1995, pagg. 224.

7.02 - Foto dell'autore

7.03 - Foto dell'autore

- 7.04 - Willis C., *Form Follows Finance*, New York: Princeton Architectural Press, 1995, pagg. 224.
- 7.05 - Ibidem
- 7.06 - Fonte: www.chicagotitletrust.com
- 7.07 - Foto dell'autore
- 7.08 - Willis C., *Form Follows Finance*, New York: Princeton Architectural Press, 1995, pagg. 224.
- 7.09 - www.bc.edu
- 7.10 - Fonte: www.wikimedia.org
- 7.11 - Architectural Record, Luglio 1915
- 7.12 - Willis C., *Form Follows Finance*, New York: Princeton Architectural Press, 1995, pagg. 224.
- 7.13 - Architectural Forum, Luglio 1931
- 7.14 - Foto dell'autore
- 7.15 - Foto dell'autore
- 7.16 - Anonimo, "Tribune turns on new cooling system today", *Chicago Daily Tribune*, 10 Giugno 1934

Capitolo 8

- 8.01 - Immagine dell'autore
- 8.02 - Foto dell'autore
- 8.03 - Foto dell'autore
- 8.04 - Ali M. M., Moon K.S., "Structural developments in tall buildings: current trends and future prospects", *Architectural Science Review* volume 50, n° 3, 2007: 205-223
- 8.05 - Fonte: www.tower42.co.uk
- 8.07 - Fonte: www.wikipedia.org
- 8.08 - Foto dell'autore
- 8.09 - Fonte: SOM
- 8.10 - Fonte: SOM
- 8.11 - Safamanesh K., "Menara Mesiniaga, *Technical Review*", 1995: pagg. 9
- 8.12 - Yeang K., "Designing the green Skyscraper", *Habitat Intl.* volume 15, n°3, 1991: 149-166.
- 8.13 - Fonte: www.maps.google.com
- 8.14 - Fonte: SOM
- 8.15 - Fonte: SOM
- 8.16 - Foto dell'autore
- 8.17 - Buchanan P., "Reinventing the Sky-Scraper.", *A and U.*, n° 329, febbraio 1998: 30-67.
- 8.18 - Yeang K., "Designing the green Skyscraper", *Habitat Intl.* volume 15, n°3, 1991: 149-166.

8.19 - Powell K., *30 St Mary Axe: a tower for London*, London, Merrel, 2006, pagg. 224.

8.20 - Battisti A., "Torre sostenibile: Thomas Herzog a Hannover", *Modulo*, n° 264, 2000: 742-746.

Capitolo 9

9.01 - Ali M. M., Paul Armstrong, *Strategies for integrated design of sustainable tall buildings*, Faculty of Architecture at University of Illinois at Urbana - Champaign: AIA Report on University research, 2006, pagg. 22.

9.02 - Bascomb N., *Higher. A historic race to the sky and the making of a city*, New York: Doubleday, 2003, pagg.342

9.03 - Foto dell'autore

9.04 - Foto dell'autore

9.05 - Tauranac J., *The Empire State Building*, New York: St. Martin's Griffin, 1995, pagg. 383.

Capitolo 10

10.01 - Fonte: www.bwtc.com

10.02 - Munro D., "Swiss Re's Building, London", *Nyheter om Stalbyggnad*, n°3, 2004: 36-43.

Capitolo 11

11.01 - Immagine dell'autore

11.02 - Immagine dell'autore

11.03 - Immagine dell'autore

11.04 - Immagine dell'autore

11.06 - Abada G., *Petronas Office Towers On Site Review Report*, 2004, pagg. 34

Capitolo 13

13.01 - Fonte: www.maps.google.com

13.02 - Foto dell'autore

13.03 - Immagine dell'autore

Capitolo 14

14.01 - Immagine dell'autore

14.02 - Immagine dell'autore

14.03 - Immagine dell'autore

14.04 - Immagine dell'autore

Indice delle tabelle

Capitolo 2

2.01 - Dati dell'autore

2.02 - Dati dell'autore

Capitolo 3

3.01 - Fonte dati: Pilkington

3.02 - Oldfield P., Trabucco D., Wood A., "Five Energy Generations of Tall Buildings: A Historical Analysis of Energy Consumption in High Rise Buildings", atti del convegno internazionale: *Tall&Green, CTBUH World Congress 2008, Dubai, UAE 2-5 Marzo 2008*, a cura di Wood A., 300 - 310. Chicago: CTBUH, 2008.

3.03 - Ibidem

Capitolo 4

4.01 - Dati dell'autore

4.02 - Fonte dati: Moon K.S., "Material-Saving Design Strategies for Tall Building Structures", atti del convegno internazionale: *Tall&Green, CTBUH World Congress 2008, Dubai, UAE 2-5 Marzo 2008*, a cura di Wood A., 135 - 142. Chicago: CTBUH, 2008.

4.03 - Dati dell'autore

Capitolo 10

10.01 - Fonte dati: www.europa.it

Capitolo 11

11.01 - Dati dell'autore

11.02 - Fonte dati: SOM

11.03 - Dati dell'autore

11.04 - De Jong J., "Advances in Elevator Technology: Sustainable and Energy Implications", atti del convegno internazionale: *Tall&Green, CTBUH World Congress 2008, Dubai, UAE 2-5 Marzo 2008*, a cura di Wood A., 213 - 217. Chicago: CTBUH, 2008.

11.06 - Ali M. M., Moon K.S., "Structural developments in tall buildings: current trends and future prospects", *Architectural Science Review* volume 50, n° 3, 2007: 205-223.

Capitolo 12

12.01 - Dati dell'autore

Capitolo 13

13.01 - Dati dell'autore

13.02 - Dati dell'autore

13.03 - Dati dell'autore



Tengo a ringraziare, per l'aiuto datomi:

Jacopo Gaspari dell'Università IUAV di Venezia

Antóny Wood e Philip Oldfield dell'Illinois Institute of Technology - Council on Tall Buildings and Urban Habitat

Peter Weismantle, Keith Boswell e Mark Sarkisian di Skidmore Owings and Merrill

Mir Ali dell'University of Illinois at Urbana Champaign

George Van Klan e Kelly Houlian di JVK Consulting

Luigi Scibilia e Livia Pelagalli di Kone

Michel W. Kagan dell'Ecole Nationale d'Architecture de Paris Belleville

Elisabetta Bonomo e i miei genitori

