

# SOSTENIBILI? QUANTO BASTA

Una ricerca valuta i grattacieli selezionando parametri ad hoc, al di fuori di quelli abitualmente utilizzati per le altre tipologie edilizie. A partire dall'altezza

Dario Trabucco

Esistono parametri fortemente dipendenti dall'altezza che svolgono un ruolo negativo oppure positivo nella valutazione della sostenibilità di un edificio alto.

## Altezza: ruoli negativi

*Riduzione dell'efficienza nell'uso dello spazio*

La progettazione di un grattacielo richiede, uno sforzo notevole per ottimizzare l'uso degli spazi. I regolamenti edilizi della maggior parte delle città prevedono, infatti, una volumetria massima edificabile in funzione della superficie del lotto dispo-

nibile; all'interno di questa volumetria, le scelte architettoniche o distributive del progettista sono 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 venir computati come superficie affittabile ma che sono indispensabili al

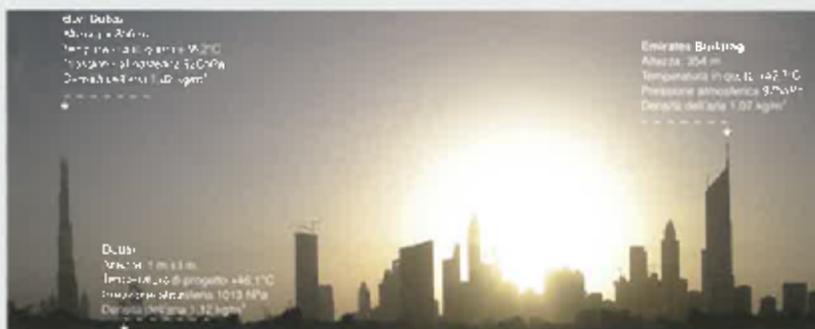
## Sostenibili altezze

Lynn Beedle, uno dei maggiori esperti mondiali di grattacieli, ha fornito la più precisa e puntuale definizione di edificio alto (Beedle, Structural Design of Tall Concrete and Masonry Buildings, CTBUH, Bethlehem USA, 1978) "Un grattacielo - diceva - è un edificio in cui il concetto dell'altezza influenza direttamente le principali scelte di carattere architettonico, strutturale, impiantistico, costruttivo e di funzionamento". In tale definizione, come si vede, è assente un parametro quantitativo (altezza, numero di piani) ma l'attenzione si sposta su un parametro puramente qualitativo. La caratteristica fondamentale di un edificio alto è, dunque, l'altezza. Tale annotazione, che può sembrare banalissima a chi viene però sovente trascurata in molte analisi mirate a valutare la "sostenibilità" del progetto di un grattacielo. Frequentemente, infatti, agli edifici alti vengono applicate delle valutazioni basate su dei parametri applicabili a

qualsiasi tipologia edilizia. Per questa ricerca (Realizzata da Dario Trabucco come parte del lavoro di Dottorato in Tecnologia dell'Architettura - Università di Venezia, Ferrara e Cesena) sono invece stati selezionati dei parametri (derivanti da metodi di valutazione esistenti o in fieri) in base ai quali condurre un'analisi della sostenibilità che consideri l'edificio alto a partire dal suo fondamento e carattere dell'altezza valutando attentamente le caratteristiche negative o positive ad esso connesse. Gli usuali parametri sono invece stati omessi o, ove menzionati, sono stati

comunque messi in relazione allo sviluppo verticale.

Nei climi caldi, ove la maggior parte dei consumi energetici degli edifici è dovuta al condizionamento estivo, l'altezza dell'edificio può giocare un ruolo positivo: l'aria alle alte quote infatti risulta meno densa, riducendo così i consumi dell'impianto di ventilazione; la minore temperatura esterna riduce i consumi dell'impianto di condizionamento e gli scambi termici, mentre la minore umidità assoluta si ripercuote in un minore calore di condensazione all'interno dell'impianto.





Il TransAmerica Building di San Francisco, con la sua struttura a piramide, ottimizza il rapporto tra la superficie commerciabile (NRA) e la superficie totale costruita (GFA). Uno studio compiuto per via analitica da Li M., Fushimi M. dell'Università di Tokyo ha dimostrato come il rapporto NRA / GFA sia migliore negli edifici a forma piramidale rispetto a edifici dalla più tradizionale forma prismatica. (foto D.T.)

## Glossario

### Edificio Efficiente

Il rapporto tra la superficie netta dell'edificio (NRA) e la superficie totale realizzata (GFA) (che comprende gli elementi strutturali, i collegamenti verticali e gli altri vani tecnici non affittabili, ma indispensabili per l'edificio) indica l'efficienza dell'edificio

### NRA Net Rentable Area

### GFA Gross Floor Area

### Embodied Energy

Energia contenuta nei materiali e accumulata in tutte le fasi di produzione e messa in opera. L'Embodied Energy di un edificio alto per unità di superficie utile è superiore al valore di un edificio più basso.

### Premium for height:

"Oneri" strutturali crescenti all'aumentare dell'altezza dell'edificio.

funzionamento dell'edificio. Al crescere dell'altezza dell'edificio aumenta in modo non lineare il numero d'ascensori necessari, l'ingombro delle strutture verticali e di altre componenti "tecniche" e si riduce, così, il rapporto di efficienza NRA / GFA. Il rapporto di efficienza medio è molto elevato per gli edifici di modesta altezza, 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 ad esservi edifici dotati prevalentemente di due gruppi di ascensori, con una conseguente drastica riduzione dell'efficienza di efficienza NRA / GFA. Applicando questo principio anche per gli edifici più alti ci si potrebbe però attendere una diminuzione dell'efficienza maggiore rispetto a quella effettivamente rilevata dai dati analizzati. E' però importante considerare due accor-

## PACCOTTIGLIA TECNOLOGICA

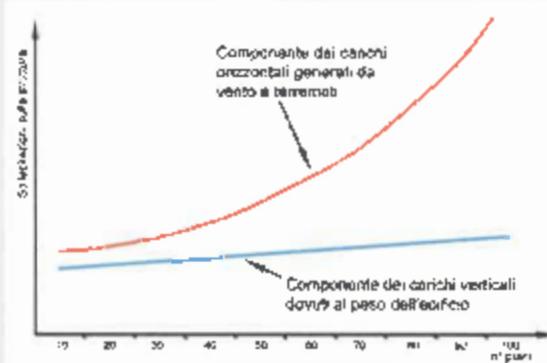
**"C'E UN CERTO ERRORE DI VALUTAZIONE SU COSA SIA IL DESIGN ECOLOGICO. (...) VI È LA PERCEZIONE DIFFUSA CHE SE ASSEMBLIAMO SU UN SINGOLO EDIFICIO ABBASTANZA PACCOTTIGLIA TECNOLOGICA COME COLLETTORI SOLARI, FOTOVOLTAICO, SISTEMI DI RICICLAGGIO BIOLOGICO, SISTEMI DI AUTOMAZIONE E FACCIATE A DOPPIA PELLE, AVREMO AUTOMATICAMENTE UN'ARCHITETTURA ECOLOGICA". K. YEANG**

gimenti che vengono adottati, negli edifici più alti, al fine di migliorare l'efficienza di utilizzo dello spazio: l'utilizzo del *sky lobby* (hall sopraelevate d'accesso ai piani più alti di un edificio alle quali si accede tramite ascensor "navetta") e di ascensori a due piani (*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 dimostrato (Li M., Fushimi M., "The Efficiency Analysis of

## Controventamento e altezze

### Premium for height

Il "premium for height" formalizzato per la prima volta da F. Khan, esplicita il progressivo aumento dell'importanza delle strutture di controventamento al crescere dell'altezza.



### Carichi verticali

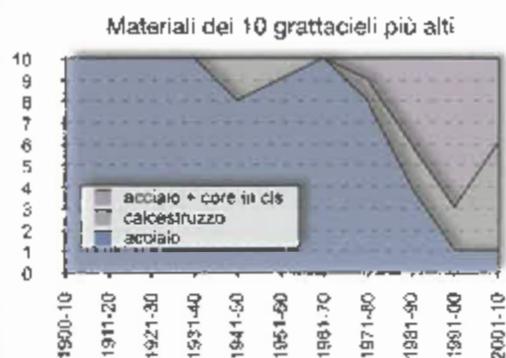
Il Danley Building di Chicago esplicita la suddivisione dei compiti strutturali tramite una progressiva riduzione delle dimensioni delle strutture verticali, gravate da un peso decrescente dalla base alla sommità. La resistenza alle sollecitazioni orizzontali è invece assicurata dal core centrale contenente gli ascensori. (foto D.T.)

### Controventamento

Struttura controventamento: La struttura di controventamento è, nel One Maritime Plaza, ancora più evidente che nel John Hancock Center di Chicago. Nel grattacielo di San Francisco, essa è addirittura separata dalle chiusure verticali e portata all'esterno dell'involucro, quasi a volerne sottolineare la funzione griglia a cui il resto dell'edificio è decisamente "appeso". I grattacieli di San Francisco sono progettati per resistere a sollecitazioni orizzontali molto forti a causa dell'elevata sismicità dell'area attraversata dalla faglia di Sant'Andrea. (foto D.T.)



## Dall'acciaio al c/c



Il progetto Aqua del o studio Gang di Chicago è solo uno dei tanti grattacieli di nuova generazione realizzati interamente in cemento armato, al fine di proteggere il promotore dai continui aumenti del prezzo dell'acciaio. Il grattacielo residenziale, che sarà completato nel 2010 è caratterizzato dal sinuoso andamento della facciata, evidenziato già in questa fase dagli oggetti delle solette col-solai.



### A muratura portante

Il Monadnock Building del 1893 è l'ultimo grattacielo realizzato in muratura portante. Per sostenere i carichi verticali agenti, le murature del piano terreno hanno degli spessori di circa 2 metri. L'estensione dell'edificio, realizzata appena 2 anni dopo, è invece costituita con una "moderna" struttura in ghisa.

### Materiali delle strutture

la struttura metallica, che alla fine del 1800 è stata uno degli ingredienti che ha reso possibile la nascita dell'edificio alto, viene progressivamente sostituita da strutture in calcestruzzo o miste, favorite da un minor costo dei materiali e da alcune prestazioni aggiuntive, quali una maggiore rigidità e migliori caratteristiche in situazioni di emergenza.

### In cemento armato



Skyscrapers based on the inner traffic", International Transport, Vol 4 n° 5 / 6, Pergamon 1997), sono caratterizzate da un più efficiente rapporto 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. I materiali da costruzione contengono infatti un determinato quantitativo di embodied energy, ovvero l'energia in essi accumulata in tutte le fasi di produzione e di messa in opera. Dall'analisi si evince come, ogni unità di superficie realmente utilizzabile si debba far carico anche dell'embodied energy contenuta nei materiali necessari a renderla accessibile, cioè impiegati nella realizzazione nel service core. 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.

Questo fatto, di per sé penalizzante nei confronti dell'altezza, risulta ulteriormente aggravato quando viene interpolato con le crescenti necessità strutturali all'aumentare dello sviluppo verticale dell'e-

dificio, ovvero il cosiddetto "premium for height" formalizzato da F. Khan.

### Riduzione dell'efficienza della struttura

Fazlur Khan, ingegnere presso lo studio SOM di Chicago e progettista, tra gli altri, del John Hancock Center e della Sears Tower, osservò che nelle strutture a maglia rigida diffusamente utilizzate fino agli anni '60, la componente necessaria a resistere ai carichi orizzontali (dovuti al vento e ai sismi) supera per importanza, peso e costo la componente della struttura necessaria a sorreggere i carichi verticali. La diversificazione dei sistemi strutturali disponibili (Al M.M. "Structura developments in tall buildings: current trends and future prospects" in Architectural science review n°7, Settembre 2007) mitiga solo parzialmente questo problema, ma non riesce ad evitare la riduzione di efficienza di un edificio alto al crescere della sua altezza. L'effetto combinato dei due fattori rappresenta uno dei problemi fondamentali della sostenibilità dei grattacieli: l'energia immagazzinata nel processo di produzione dei materiali, necessari per realizzare una singola unità di superficie utile di un grattacielo, ren-

de questa tipologia edilizia molto meno efficiente rispetto l'edilizia convenzionale. L'altezza, oltre a provocare delle ricadute negative sull'embodied energy dell'edificio, si ripercuote negativamente anche sui consumi energetici legati al funzionamento del grattacielo. La principale voce di consumo direttamente collegabile all'altezza infatti è data dalla necessità di spostamento verticale delle persone.

#### Consumi energetici degli ascensori

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, risiede anche la ragione principale della loro inefficienza energetica. Nonostante infatti i consumi di ogni singolo ascensore siano molto contenuti negli edifici convenzionali, al crescere dell'altezza della corsa cresce in maniera esponenziale il consumo di energia. Le ragioni sono molteplici, ma vanno ricercate soprattutto in due elementi: la crescente velocità richiesta agli ascensori per superare il dislivello in un tempo ritenuto accettabile dagli utenti e il maggiore peso dei cavi necessari alla movimentazione della cabina. Sebbene il peso della cabina sia infatti bilanciato dalla presenza del 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 al peso della cabina tanto che, per un peso trainato utile di soli 1600 kg, il peso dei cavi in un ascensore di 500 metri di corsa supera le 10 tonnellate. I consumi di un ascensore variano così da 2-3 kWh negli impianti convenzionali ai 40 kWh dell'ascensore principale del Taipei 101, l'attuale ascensore più alto del mondo. I centri di ricerca dei principali produttori sono al lavoro per superare i limiti tecnologici degli ascensori. Il principale elemento di novità è dato dall'eliminazione del contrappeso e dall'utilizzo di un motore a recupero di energia in grado di trasformare in corrente elettrica l'energia potenziale della cabina: oltre al recupero dell'energia impiegata per il sollevamento dell'ascensore e al risparmio di spazio che tale soluzione consente, un ulteriore importante beneficio è rappresentato dall'eliminazione del tradizionale sistema di frenatura per attrito inserito all'interno dei motori convenzionali e dal conseguente annullamento dei carichi termici da esso generati. Nei grattacieli infatti, in cui il 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

## Il fattore di densificazione urbana

### Il Blue Cross a Chicago

Blue Cross. La Blue Cross Tower di Chicago è stata costruita negli anni '90 come un edificio di 32 piani. Completata nel 1997, è ora sottoposta ad un intervento di "superlettazione" in altezza. I 25 piani aggiuntivi, in corso di costruzione, permetteranno di raddoppiare, all'incirca, la superficie utile disponibile. L'intervento, già pianificato nella prima fase di costruzione, offre la possibilità di aumentare la densità della città consentendo di ridurre i consumi di carburante individuali.

### Esempi americani



Le città americane, malgrado un distretto finanziario molto denso caratterizzato da "cluster" di grattacieli, presentano delle densità di popolazione medie molto basse. La maggiore estensione dell'agglomerato urbano costringe la popolazione ad un massiccio uso dell'automobile, che sofferisce alla difficoltà dei mezzi di trasporto pubblico di servire adeguatamente la città in modo uniforme. Anche per questo motivo (oltre che per ragioni economico-culturali) le metropoli degli Stati Uniti si trovano ai livelli più alti di consumo di carburante pro capite, con negative ricadute sulla sostenibilità urbana.



## Consumi energetici degli ascensori

### Consumo e peso dei cavi

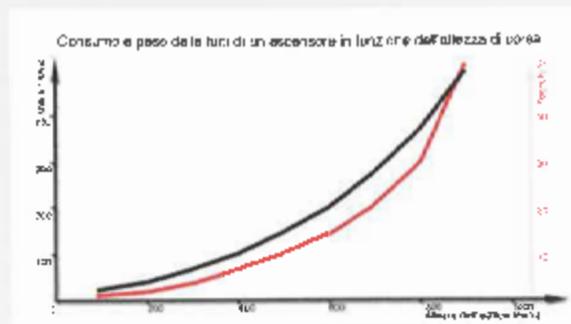
Relazione tra il consumo e il peso dei cavi.

Negli ascensori più alti, il peso dei cavi supera di gran lunga il peso effettivo della cabina trainata, aumentando esponenzialmente i consumi di energia. Anche la velocità di viaggio, necessaria per coprire altezze sempre crescenti in tempi accettabili, influenza negativamente i consumi energetici dei sistemi di trasporto verticale.



### Sky lobby e double decker

Al fine di migliorare l'efficienza di utilizzo dello spazio possono essere adottati due accorgimenti: l'utilizzo delle sky lobby (hall sopraelevate di accesso ai piani più alti di un edificio alle quali si accede tramite ascensore "navetta", nella foto a fianco) e di ascensori a due piani (double decker).



e il 40% dei consumi totali dello stesso ascensore.

### Altezza: ruoli positivi

L'altezza dei grattacieli può però svolgere, se opportunamente sfruttata, anche un ruolo importante nel raggiungimento di un obiettivo di sostenibilità sia dell'edificio sia, soprattutto, dell'intera città.

#### il fattore di densificazione urbana

L'elemento che ha reso i grattacieli una forma estremamente remunerativa di investimento è stata, fin dalla loro origine, la possibilità di moltiplicare verticalmente, per un numero potenzialmente infinito di volte, la superficie del lotto su cui vengono realizzati. In poche parole è cioè possibile concentrare un grande numero di attività economiche su una piccola porzione di superficie. Studi diversi (Newman, Kenworthy, USA, 1989; Naess, Oslo 1993), hanno dimostrato come, all'aumentare della densità urbana si riducano i consumi di carburante legati ai trasporti. Tale correlazione è dovuta principalmente a: l'aumento della disponibilità di mezzi di trasporto pubblici, ottenibile solo in presenza di una sufficiente aggregazione della domanda; l'accorciamento delle distanze medie da percorrere; le ricadute negative create sulla mobilità privata dalla scarsa disponibilità di parcheggi e dalla congestione viaria. La densificazione urbana, resa possibile dall'edificio alto, svolge un ruolo fondamentale nell'analisi di un bilancio di sostenibilità esteso, in questo caso, all'intero agglomerato urba-

no. Qua ora infatti l'edificio alto va ad aumentare la densità della città in cui viene costruito, il vantaggio relativo alla diminuzione del consumo pro-capite di carburante può, se esteso per un ciclo di vita sufficientemente lungo dell'edificio, mitigare o addirittura annullare l'impatto negativo prodotto dall'embodied energy dei materiali impiegati per la sua costruzione.

### Le economie di scala e l'inerzia termica

L'analisi degli eventuali benefici delle economie di scala di un grattacielo deve partire da un presupposto importante, ovvero il fatto che esse, essendo conseguibili anche tramite altre tipologie edilizie (edifici in linea, grossi complessi edilizi tradizionali), non sono una caratteristica esclusivamente attribuibile agli edifici alti e sono quindi, per questa ragione, parzialmente svincolato dal concetto di altezza. Il concetto di economie di scala, che viene solitamente utilizzato in ambito economico, deve inoltre essere qui inteso come l'insieme dei vantaggi ottenibili, in materia di consumi energetici, dalla realizzazione di un edificio di grandi dimensioni. Un importante vantaggio riscontrabile è dato dalla raffinatezza del processo che solitamente porta alla costruzione di un intervento di grandi dimensioni. Il principale fattore che può essere annoverato tra i vantaggi dati dal conseguimento di un'economia di scala è l'inerzia termica della costruzione. Al crescere delle dimensioni dell'organismo edilizio, salvo particolari configurazioni plani-volu-

metriche che annullano questo effetto, diminuisce il rapporto tra il volume e la superficie dell'involucro. Infatti, mentre la superficie di un solido cresce secondo una funzione quadratica, il suo volume aumenta seguendo una funzione cubica. Di conseguenza, a parità di prestazioni dell'involucro, un edificio di grandi dimensioni sarà, tendenzialmente, meno sensibile agli sbalzi di temperatura rispetto ad un edificio più piccolo, riuscendo a conservare più facilmente le condizioni di comfort interne prestabilite, grazie ad una minore incidenza della superficie disperdente sulla cubatura complessiva. I possibili vantaggi derivanti da questa caratteristica sono però solitamente vanificati dal messa in opera di chiusure verticali, spesso realizzate in materiali leggeri e trasparenti che favoriscono gli scambi termici e l'incidenza degli apporti solari.

#### L'ambientale interno

Un studio recente (Elis P. G., Torcellini, A., "Simulating tall buildings using energypus" Atti dell'9° conferenza internazionale IBPSA, 15-18 Agosto 2005, Montreal, Canada) dimostra che i consumi energetici relativi al controllo ambientale interno possono trarre dei progressivi vantaggi al crescere dell'altezza. Tale affermazione prende spunto dalla constatazione di alcune caratteristiche fisico-climatiche dell'atmosfera quali la minore densità dell'aria ( $-1,0\% \text{ Pa/km}$ ) e la riduzione della temperatura atmosferica ( $-6,5^\circ\text{C/km}$  secondo il metodo di calcolo ASHRAE,  $-9,78^\circ\text{C/km}$  secondo il metodo a bulbo secco) al crescere della quota di riferimento. Gli edifici che traggono vantaggio da queste caratteristiche dell'atmosfera sono quelli che sorgono in posizioni geografiche nelle quali le esigenze di condizionamento estivo prevalgono su quelle di riscaldamento invernale: in tali casi, il posizionamento in quota degli impianti di trattamento dell'aria trae vantaggio dalla progressiva riduzione

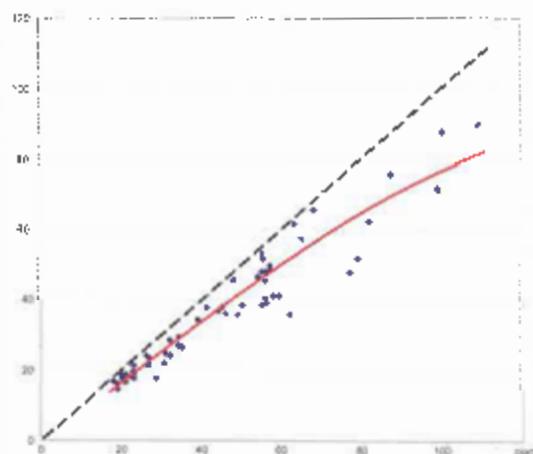
della temperatura di partenza dell'aria da climatizzare e da una minore densità del fluido da trattare (e un conseguente minor carico sui sistemi di pompaggio). Inoltre alla riduzione di questi parametri, corrisponde generalmente una più bassa percentuale di umidità assoluta dell'aria, con una conseguente riduzione del calore latente di condensazione. Al di là dei benefici sopra descritti, apprezzabili solo per edifici di grandi altezze, è importante sottolineare il peso che i sistemi di pompaggio dei fluidi assumono nel bilancio globale di sostenibilità di un edificio alto, equivalenti a 200-300 kW/h in un edificio di 200 metri di altezza. La ventilazione naturale, maggiore e più costante al crescere dell'altezza,

può fornire l'opportunità per una parziale riduzione dei consumi, almeno nelle zone climatiche e nei periodi dell'anno più adatti. Il design di un edificio multi-purpose in Cina (Leung L., Weismantle P., "Sky-sourced sustainability, how supertall buildings can benefit from height" Atti dell'8° Conferenza mondiale del CTBUH, 3-5 Marzo 2008, Dubai, UAE), avente un'altezza di 260 metri e un atrio sopraelevato continuo di 90 metri posto sulla sommità, ha tenuto in considerazione l'intensità e la direzione dei venti dominanti, consentendo di introdurre nell'edificio, semplicemente tramite la ventilazione naturale, 100.000 m<sup>3</sup> di aria esterna all'ora.

#### L'altezza non c'entra

Parametri marginalmente dipendenti dall'altezza che svolgono un ruolo importante nella valutazione

**TRUCCHI PER EDIFICI ALTI EFFICIENTI PER MANTENERE UNA BUONA RELAZIONE DI EFFICIENZA, MOLTI GRATTACIELI HANNO SAGOMA TRIANGOLARE A GARANZIA DI UN BUON RAPPORTO NRA/GFA; SKY LOBBY E ASCENSORI DOUBLE DECKER CONTRIBUISCONO A MIGLIORARE L'EFFICIENZA DI UTILIZZO DEGLI SPAZI.**



#### Efficienza d'uso e altezza

Il grafico dimostra la progressiva riduzione nell'efficienza d'uso degli spazi in diversi grattacieli, al crescere dell'altezza.

Le unità di superficie effettivamente utilizzabili devono pertanto farsi carico, nel calcolo della loro embodied energy, anche dei materiali impiegati per la realizzazione degli spazi serventi dell'edificio, generalmente contenuti nel service core.

Per la quantificazione di questo rapporto, sono stati raccolti i dati riferiti a 60 edifici alti, aventi un'altezza minima di 18 piani.

Il campione analizzato considera una percentuale non rilevante degli edifici medio-bassi mentre rappresenta l'11% della popolazione totale esistente di edifici superiori a 55 piani.

ne della sostenibilità di un edificio alto

#### La reversibilità delle costruzioni

Tra gli elementi che influiscono sulla valutazione di sostenibilità di un edificio alto viene spesso citata a caratteristica di reversibilità propria della costruzione a secco delle strutture metalliche che, alla fine del loro ciclo di vita, possono venir smontate e riusate/riciclate, recuperando così l'embodied energy dei materiali. La costruzione a secco, che essendo indipendente dall'altezza del manufatto viene largamente impiegata in molte altre tipologie edilizie, è stata però estensivamente utilizzata nella realizzazione dei grattacieli per alcuni vantaggi che è in grado di offrire: maggiore resistenza degli elementi; possibilità di realizzare le giunzioni tra i vari pezzi tramite saldatura o semplice bullonatura; facile manovrabilità dei materiali in cantiere; assenza di costosi lavori di precisazione e movimentazione delle casseforme; risparmio dei tempi di maturazione proprio del calcestruzzo. Un'analisi condotta appositamente per questo studio (Fonte dati: "I dieci edifici più alti del mondo per ogni decade: www.sky-scraperspage.com"; "I dieci edifici più alti del mondo 2008-2010: Oldfield P., "Tal est 20 in 2020",

CTBUH Journal, Fall 2007, Chicago"; "Dati riguardanti la struttura portante dei 100 edifici analizzati: www.emporis.com") ha permesso però di evidenziare come il calcestruzzo stia occupando un ruolo sempre più importante nella realizzazione delle strutture portanti degli edifici alti. La quasi totalità dei grattacieli realizzati dagli anni '90 è infatti costituita da un core in calcestruzzo e da una struttura perimetrale in acciaio. In un numero sempre crescente di casi, il cemento armato diventa addirittura l'unico materiale della struttura portante, come nel caso del Burj Dubaj o delle Petronas Towers. Le ragioni del crescente impiego di questo materiale sono sostanzialmente legate ad un esponenziale aumento del prezzo dell'acciaio, oltre ad un'accesa conoscenza della tecnologia e da un miglioramento delle proprietà meccaniche del cemento.

#### Applicazione di tecnologie per la produzione energetica da fonti rinnovabili

I più recenti studi sulla correzione fonti rinnovabili/altezza, sviluppati da SOM (Intervista dell'autore con Peter Weismantle, SOM Chicago, Ottobre 2007), cercano di dimostrare come, attraverso a modellazione dell'edificio tramite il software

Fattore	Edifici Alti				Edilizia tradizionale
	Influenza dell'altezza	Rilevanza per la sostenibilità	Influenza	Note	
Efficienza di utilizzo dello spazio			Embodied Energy	Migliorabile tramite un'attenta progettazione del service core, l'opportuna distribuzione delle funzioni del grattacielo e la scelta della sua forma.	Prevalenza di spazi serventi su spazi serviti
Efficienza strutturale			Embodied Energy	Migliorabile tramite lo studio della forma dell'edificio e dello schema struttura. Nuovi materiali potranno in futuro consentire notevoli	Massima efficienza raggiunta per edifici circa 4-5 piani
Consumi energetici degli ascensori			Consumi energetici	Interessa soprattutto gli edifici molto alti a causa delle elevate velocità di corsa e del peso trainato. Migliorabile tramite l'utilizzo di nuove tecnologie	Molto bassi grazie a basse velocità e allo scarso utilizzo
Densificazione urbana			Consumi energetici a scala urbana	Riguarda le "esternalità" dell'edificio alto, se adeguatamente sfruttata può, da sola, ribaltare il bilancio globale di sostenibilità dei grattacieli	Difficilmente raggiungibile, fonte dispersione urbana città diffusa
Economie di scala e inerzia termica			Consumi energetici	Sono dovute alla dimensione dell'intervento edilizio, e non sono quindi direttamente legate all'altezza.	Difficilmente perseguibili
Consumi dovuti al controllo ambientale e al pompaggio dei fluidi			Consumi energetici	Gli edifici alti dipendono più delle volte dalla ventilazione artificiale, che, specie nei mesi estivi, ricopre la più grossa percentuale dei consumi dell'edificio.	Prevalenza di ventilazioni naturali e pressioni dell'acqua di rete
Reversibilità delle costruzioni			Embodied Energy	La prassi storica di realizzare le strutture portanti in materiali metallici sta progressivamente venendo meno, vanificando i vantaggi derivanti dalla costruzione a secco.	Solitamente costruiti con tecniche non reversibili
Produzione energetica da fonti alternative			Consumi energetici	L'edificio alto può fungere, se opportunamente costruito, come collettore per intensificare la forza del vento e per sfruttare la maggiore costanza del vento in quota	Difficile applicazione dei sistemi eolici

EnergyPlus, sia possibile utilizzare le altezze estreme di alcuni super tall building in corso di progettazione per incrementare la produzione di energia da fonti rinnovabili, traendo beneficio dalla costanza e forza del vento e dal maggiore irraggiamento dei sistemi fotovoltaici. I sistemi di generazione eolica risultano al momento ancora penalizzati dal mancato sviluppo dei generatori ad asse verticale i quali, a differenza di quelli ad asse orizzontale, sono in grado di sfruttare al meglio il vento indipendentemente dalla sua direzione di provenienza. L'applicazione dei generatori eolici tradizionali è infatti strettamente vincolata all'esistenza di una forte presenza di venti dominanti che, spirando costantemente da una direzione ben definita, possono influenzare il design dell'edificio. I normali rotor infatti, una volta fissati alla struttura dell'edificio, sono in grado di produrre energia solo quando il vento proviene da una direzione all'interno di uno stretto angolo rispetto all'asse di funzionamento. La forma del Bahrain World Trade Center (Smith R., Killa S., "Bahrain world trade center (BWTC): the first large scale integration of wind turbines in a building", The structural design of Tall and Special Buildings, Vol. 16, n° 4, Dicembre 2007, Wiley), ad esempio, è stata influenzata dalla decisione di inserire tre generatori eolici all'interno della struttura. L'orientamento e la forma dei due edifici sono stati studiati per incanalare verso i generatori i venti della brezza di mare provenienti dal golfo antistante. Al di là di questo esempio, l'applicazione di tali apparecchi rischia però di non dare benefici rilevanti: l'aumento dimensionale delle strutture necessarie a sostenere i generatori e le ricadute di queste su tutti gli altri componenti dell'edificio annullano, infatti, la marginale quota di energia prodotta dai sistemi eolici in assenza di particolari e irripetibili situazioni del contesto. L'applicazione di sistemi di produzione dell'energia non sembra quindi, sulla base delle tecnologie attuali, in grado di migliorare sostanzialmente il bilancio di sostenibilità di un edificio alto, sia a causa dei modesti apporti energetici in grado di fornire, sia per il fatto che può generare più ricadute negative che effettivi vantaggi. Al di là di queste recenti intuizioni, resta comunque valido il principio espresso da Ken Yeang: "C'è un certo errore di valutazione su cosa sia il design ecologico. Non dobbiamo farci sedurre e ingannare dalla tecnologia. Vi è la percezione diffusa che se assembliamo su un singolo edificio abbastanza paccottiglia tecnologica come collettori solari, fotovoltaico, sistemi di riciclaggio biologico, sistemi di automazione

## Produzione energetica da fonti rinnovabili

Il progettisti del Bahrain WTC hanno integrato i generatori eolici fin dalle fasi iniziali di design, modellando l'intero edificio in modo da convogliare la brezza marina verso i generatori. Grazie alla forma delle due torri, che fungono da "deflettori" e alla regolarità del vento, i tre generatori da 29 metri di diametro sono in grado di produrre 1200MWh/anno. (fonte: sito web ufficiale)"



e facciate a doppia pelle, avremo automaticamente un'architettura ecologica."

### Conclusioni

L'analisi di un edificio alto non può essere condotta adottando gli stessi criteri utilizzati per l'edilizia convenzionale poiché questi non tengono conto della principale caratteristica e criticità di un grattacielo: l'altezza. Questa, influenzando tutti i parametri di progettazione, costruzione e funzionamento, condiziona il bilancio di un edificio espresso sia in termini di embodied energy che di energia di funzionamento. Dall'analisi condotta è possibile intuire come l'edificio alto non sia "di per sé" sostenibile, a causa del "premium for height" e dei vari fattori di riduzione dell'efficienza. Una corretta valutazione deve però tenere in considerazione il ruolo urbano del grattacielo e la sua fondamentale funzione di densificazione della città grazie alla quale, se attentamente controllata, è possibile invertire il giudizio di sostenibilità.

### Componenti: tanti e prodotti lontano

Uno degli aspetti negativi che gioca un ruolo sfavorevole negli interventi di grandi dimensioni è dato dalla dilatazione del bacino produttivo di approvvigionamento dei materiali. Infatti, la rilevanza economica degli appalti di fornitura dei materiali e dei componenti di cui l'edificio è composto, attrae produttori posti a grande distanza dal luogo di costruzione. Recentemente, l'apertura dei mercati e la specializzazione raggiunta da alcuni gruppi industriali hanno fatto sì che gli elementi che compongono i progetti più importanti e rappresentativi provengano spesso da migliaia di chilometri di distanza. I consumi legati al trasporto di questi materiali peggiorano l'efficienza costruttiva degli edifici alti, rispetto alla edificazione di architetture tradizionali di minor respiro e importanza economico - progettuale.