

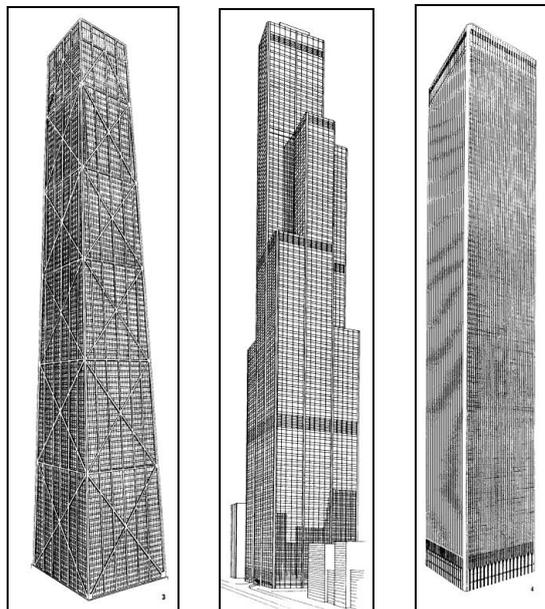
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PAVIA
DIPARTIMENTO DI MECCANICA STRUTTURALE

Rapporto Didattico RD-01/05

Aldo Cauvin, Giuseppe Stagnitto

LE STRUTTURE DI GRANDE ALTEZZA: I GRATTACIELI

Sintesi storica e concetti statici



Pavia, Febbraio 2005

LE STRUTTURE DI GRANDE ALTEZZA: I GRATTACIELI

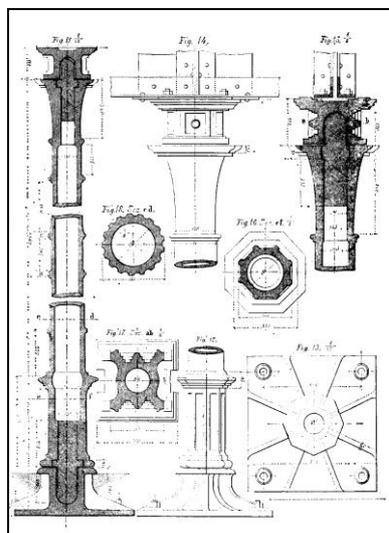
Sintesi storica e concetti statici

INDICE

1. Impiego della ghisa nelle costruzioni civili
2. Impiego del ferro nella Filanda di Watt, a Manchester
3. Il *Crystal Palace* e il calcolo a telaio
4. Viollet le Duc e la *Prima Scuola di Chicago*
5. Il concetto di struttura alta e il *prezzo dell'altezza*
6. Elementi controventanti piani
7. Il calcolo dei muri accoppiati di controventamento
8. Elementi controventanti scatolari
9. Il calcolo lineare elastico semplificato delle strutture alte
10. Problemi strutturali negli edifici alti
11. La necessità di un'analisi non lineare per elementi in c.a.
12. Metodologia computazionale, secondo la formulazione del Prof. Cauvin
13. La *Seconda Scuola di Chicago*
14. Esempi di grattacieli a struttura tubolare
15. Elenco dei grattacieli più alti
16. Bibliografia

1. Impiego della ghisa nelle costruzioni civili

I primi elementi strutturali che la nuova produzione industriale della ghisa rese disponibili furono le colonne: le prime avevano sezione quadrata, poi si usarono sezioni a croce ed infine si giunse alla definitiva sezione circolare cava.

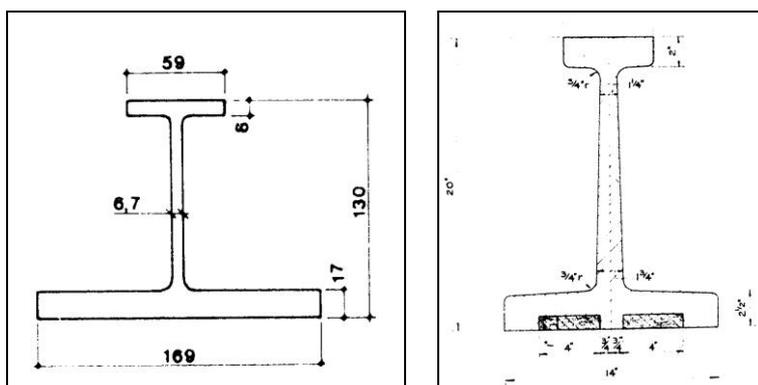


Esempi di colonne in ghisa [1]

Per quanto riguarda le travi, la loro forma ebbe un'evoluzione a partire dagli inizi dell'ottocento.

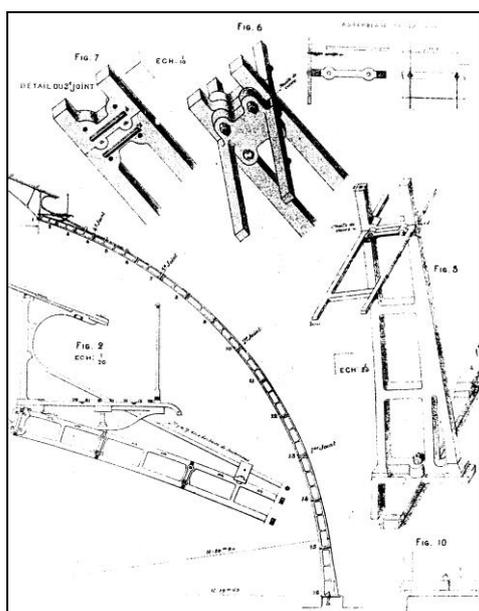
Nel 1830 Hodgkinson pubblicò i risultati dei suoi studi: avendo la ghisa diverso comportamento a trazione e a compressione, la miglior forma di trave a doppio T era dissimmetrica, e presentava un rapporto fra le ali di 1 a 6.

Barlow nel 1847 propose di rinforzare l'ala tesa con un'armatura di ferro che compensasse la bassa resistenza a trazione della ghisa (anticipando così il principio del cemento armato).



Trave in ghisa dissimmetrica di Hodgkinson (1830) e trave armata di Barlow (1847) [10]

La cupola *Halle au blé* (a copertura del Granaio di Parigi) fu costruita nel 1811 dall'architetto Bellangé e dall'ingegnere Brunet: scrive il Giedion (S. Giedion, *Spazio, tempo ed architettura*, II ed. it, Milano, 1984) che questo fu uno dei primi casi in cui ingegnere ed architetto furono due persone distinte (anche se forse si dovrebbe considerare la precedente esperienza di San Geneviève (Pantheon) a Parigi che vide impegnati l'architetto Soufflot e il Rondelet, il quale in quell'occasione fece prove sperimentali sulla resistenza dei materiali, definendo per la prima volta il concetto di *carico di sicurezza*).



Particolari costruttivi della cupola *Halle au blé* [10]

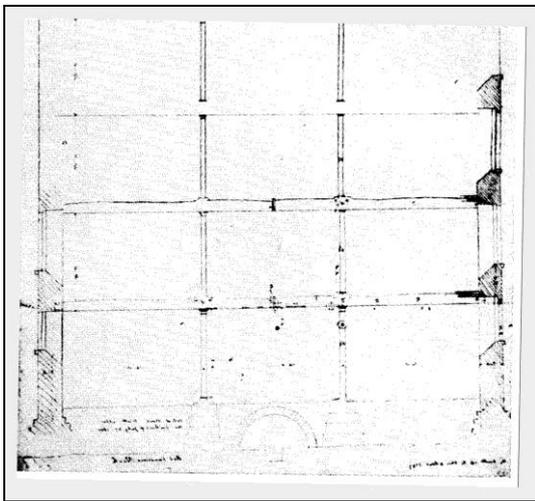
I due francesi adottarono metodi della costruzione in legno, come gli inglesi avevano adottato metodi della costruzione in pietra, per i loro primi ponti in ferro.

La cupola aveva 39 metri di diametro. Adottava speciali accorgimenti costruttivi; era molto curata nei giunti tra i conci degli archi meridiani, nei quali, per uniformare le pressioni, erano disposti degli spessori di rame.

2. Impiego del ferro nella Filanda di Watt, a Manchester

La Filanda di cotone a Salford, Manchester (1801) è il primo esempio dell'impiego di travi e pilastri di ferro, con travi avente sezione a doppio T.

La progettazione, di un'accuratezza straordinaria, riflette l'esperienza di Watt nella fabbricazione delle macchine a vapore.



Sezione dal progetto della filanda di Salford [1]

È una costruzione a sette piani con ossature di ferro circondata da pareti esterne di muratura.

Può essere considerato il primo esperimento dello sviluppo dell'ossatura di acciaio che farà la sua comparsa a Chicago nel 1880.

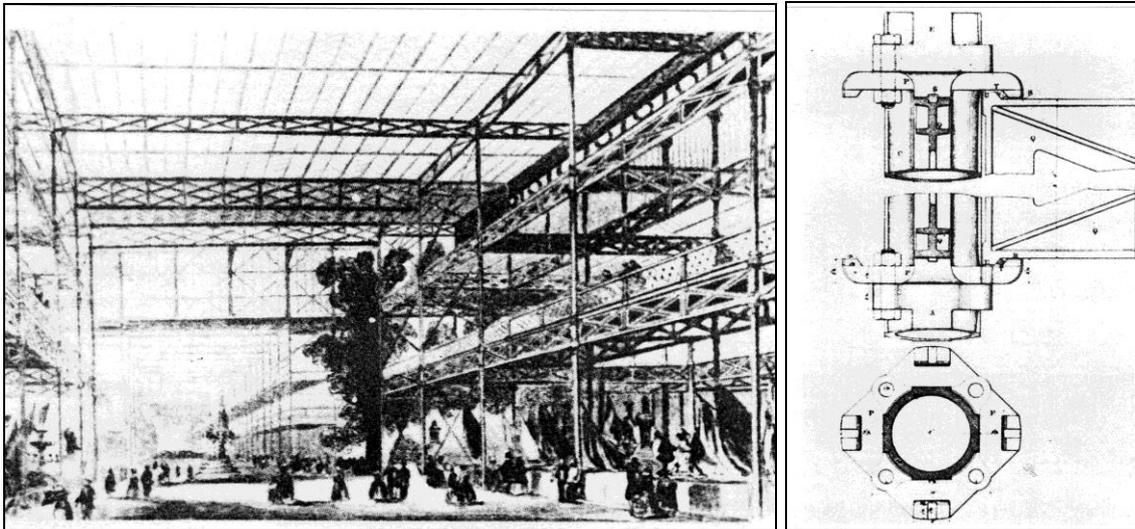
3. Il *Crystal Palace* e il calcolo a telaio

I primi edifici industriali usavano travi e colonne di ghisa ed erano controventati da un involucro murario continuo, come si è detto per la Filanda di Manchester.

Il primo edificio metallico progettato come *struttura a telaio* fu il *Crystal Palace* di Joseph Paxton a Londra (1851).

Come noto, è una delle tre strutture emblematiche delle nuove possibilità costruttive della seconda metà dell'ottocento: costruito per l'Esposizione Universale di Londra, era la struttura in acciaio che copriva l'area più vasta, così come il ponte di Brooklyn nel 1883 era la struttura che raggiungeva la luce più ampia e la torre Eiffel, costruita per

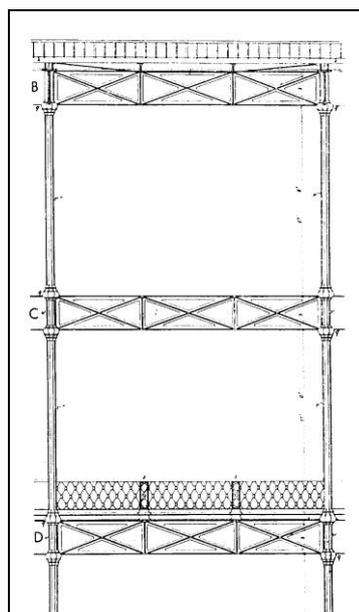
l'Esposizione Universale di Parigi del 1889, era la struttura più alta (310 m, valore che sarà sorpassato solo nel 1929 dal *Chrysler Building* di New York).



Il *Crystal Palace* e particolare del collegamento trave colonna

Nelle discussioni per il progetto si intuiva che la stabilità dell'edificio, cioè la resistenza alle azioni orizzontali, dipendeva dall'efficienza dell'incastro tra travi e colonne, ma non era stato ancora approntato il relativo modello di calcolo.

In effetti, come scrive il Prof. Nascè (C.T.A., *Contributi alla STORIA DELLA COSTRUZIONE METALLICA*, a cura di V. Nascè, Firenze, 1982), si rendeva necessario abbandonare la tradizionale *concezione gerarchica* della struttura, per cui sono le travi a portare i carichi sulle colonne le quali, per loro conto, resistono ad essi e, quali mensole incastrate alla base, si oppongono alle forze orizzontali.

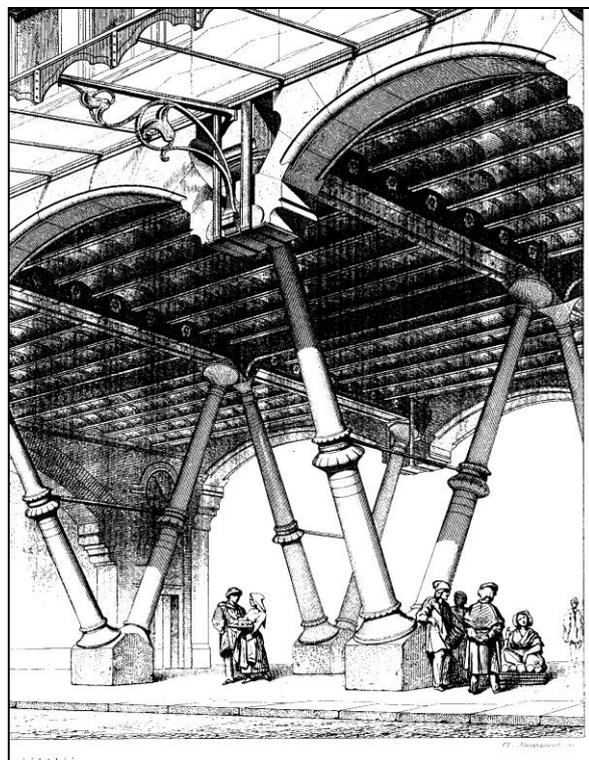
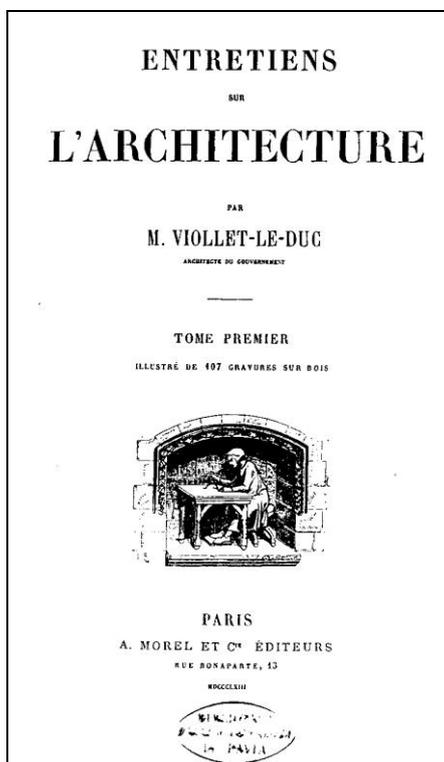


I telai metallici del *Palazzo di Cristallo* [1]

Fu il matematico ed astronomo Airy ad individuare nelle coppie scambiate con le travi gli elementi statici che contribuivano alla resistenza contro la spinta del vento. E' questo il primo esempio di un calcolo a telaio nella storia delle costruzioni.

4. Viollet le Duc e la *Prima Scuola di Chicago*

Sia il Giedion (S. Giedion, *Spazio, tempo ed architettura*, II ed. it., Milano, 1984) sia il Billington (D.P. Billington, *The tower and the bridge*, Princeton University Press, 1983) considerano determinante per il nuovo sviluppo dei grattacieli americani la traduzione e la diffusione in America delle Conferenze sull'architettura (Entretiens) del Viollet le Duc.



Frontespizio e tavola tratti dagli Entretiens di Viollet le Duc

Lo studioso, approfondendo la conoscenza dell'architettura gotica, aveva sviluppato una teoria costruttiva che rilevava l'importanza della struttura nella concezione dell'opera.

Egli *attualizzava* il concetto, traducendo nella nuova ossatura metallica gli antichi scheletri di pietra.

Nelle prime pagine del II volume Viollet le Duc osserva che *"un architetto capace potrebbe non illogicamente concepire l'idea di erigere un vasto edificio con una struttura tutta in ferro... proteggendola con un involucro di pietra"*.

Gli edifici costruiti subito dopo l'incendio del 1871 erano simili a quelli preesistenti: dopo il 1880 appaiono i primi edifici alti dieci piani, in coincidenza con la traduzione e la diffusione in America degli *Entretiens sur l'Architecture* di Viollet le Duc..

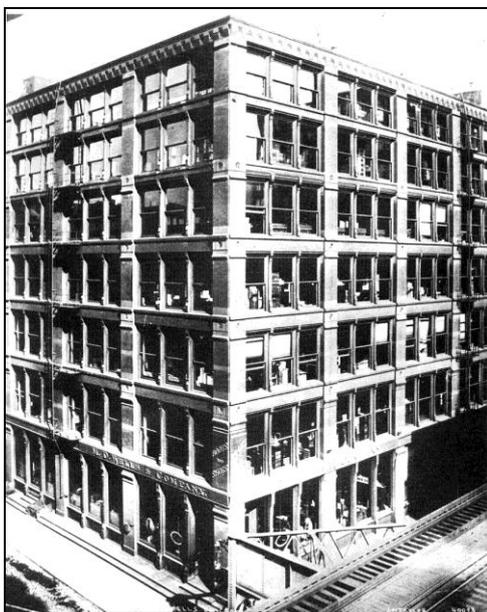
Nel 1883 fu costruito il primo vero grattacielo in Chicago (dopo lo spaventoso incendio del 1871 che ridusse in cenere il centro della città): l'edificio a 10 piani della *Home Insurance Company* a Chicago ad opera di William Le Baron Jenney, nato in America ma laureatosi a Parigi presso l'Ecole Polytechnique.



Home Insurance Building, Chicago, 1885 [9]

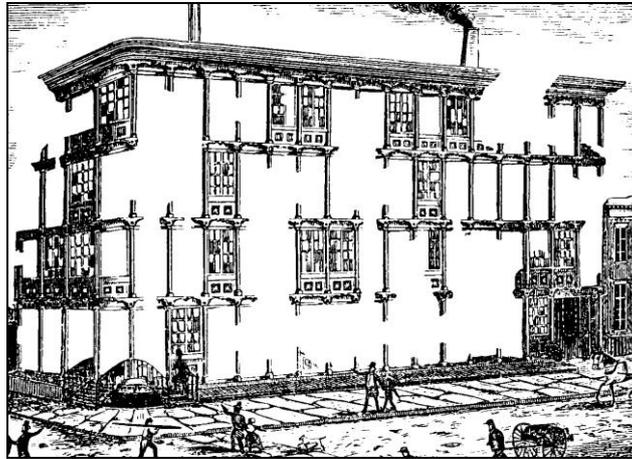
Il palazzo, di dieci piani, sfruttava al massimo l'area disponibile: le facciate erano leggere, con pilastri annegati nella muratura di tamponamento: lo scheletro portante era completamente metallico. Fu demolito nel 1930.

Nel precedente *Leiter Building I* del 1879 egli aveva ancora usato una struttura mista: all'esterno pilastri in muratura e all'interno pilastri metallici.



Leiter Building I, Chicago, 1879 [9]

Nel 1896 Burnham attesterà che il principio di sostenere l'edificio su un telaio di ferro era dovuto all'opera di William Le Baron Jenney (in precedenza, intorno al 1850, a New York, Bogardus aveva usato elementi di ghisa, sollecitabili a sola compressione).



Disegno di Bogardus mostrante l'utilizzo di elementi in ghisa [5]

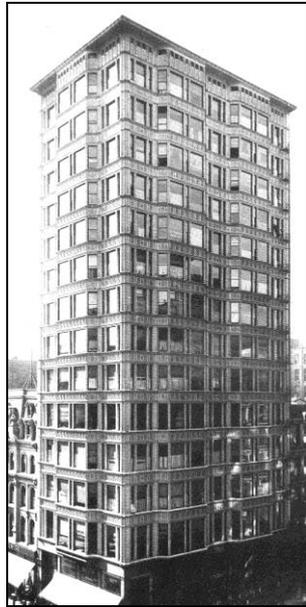
Nel 1889 il secondo Leiter Building costituisce un capolavoro di purezza del nuovo stile a scheletro: anche negli edifici civili *la struttura*, secondo le parole di Giedion, *diventa uno strumento di espressione architettonica*.



Leiter Building, Chicago, 1889 [5]

Insieme a Le Baron Jenney, Burnham, Root, Adler e Sullivan sono i protagonisti della cosiddetta Prima scuola di Chicago.

Nel 1894 Burnham e Root realizzano quello che è considerato il più bell'esempio della scuola di Chicago: il *Reliance Building* di 15 piani: una torre rivestita di vetro e maiolica bianca come una "pelle tesa sopra lo scheletro dell'edificio"[5].

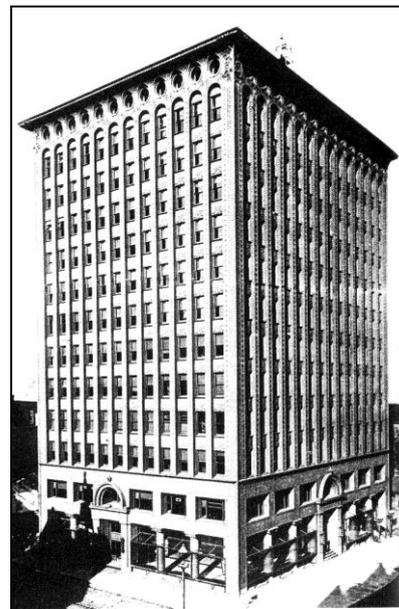


Reliance Building, Chicago, 1895 [9]

Adler e Sullivan realizzano il *Wainwright Building* di Saint Louis (1891) e il *Guaranty Building* di Buffalo (1895).



Wainwright Building, Saint Louis, 1891 [4]



Guaranty Building, Buffalo, 1895 [9]

Wright che era assistente di Sullivan ha descritto la genesi del *Wainwright*: Sullivan proponeva un'analogia con la tripartizione (in base, fusto e capitello) della colonna classica:

“Mentre i piani inferiori hanno particolari esigenze, i piani intermedi dovranno ripetersi identici perché hanno la stessa funzione. Il coronamento, per sua natura, dovrà rendere manifesta la conclusione dell'edificio. L'analogia con base, fusto e capitello della colonna classica non deriva da una logica astratta, ma scaturisce dalla naturale suddivisione in tre parti”.

Come noto, la costruzione di edifici a molti piani deve molto all'invenzione dell'ascensore ad arresto di sicurezza e ad alta velocità da parte di Graves Otis (1851).

Verso il 1930 viene costruito quello che per molto tempo resterà l'edificio più alto del mondo l' *Empire State Building* di New York (378 m).

Il primo vero grattacielo in cemento armato, di 16 piani, fu costruito 20 anni dopo.



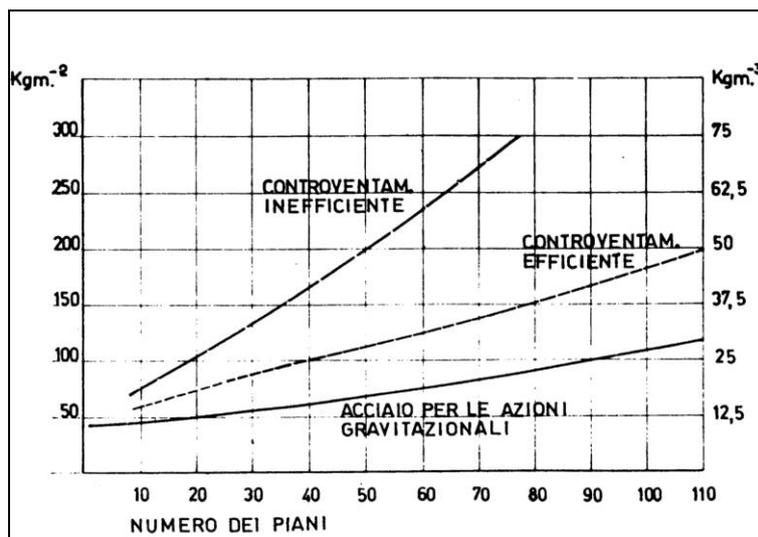
Empire State Building, New York, 1931

5. Il concetto di struttura alta e il prezzo dell'altezza

Da un punto di vista strutturale, una costruzione si dice *alta* quando nella sua concezione e nel suo calcolo acquistano determinante importanza le azioni orizzontali.

Teoricamente, prescindendo da problemi di instabilità e di flessibilità, il materiale costruttivo necessario per far fronte alla so/a azione gravitazionale cresce, all'aumentare del numero dei piani con una legge che è quasi lineare.

La necessità di far fronte alle azioni orizzontali del vento e del sisma comporta un ulteriore utilizzo di materiale che rappresenta il cosiddetto "prezzo dell'altezza".



Utilizzo dell'acciaio in dipendenza del numero dei piani [7]

Nella figura - tratta da un articolo del Prof. Leo Finzi (*Sulla progettazione strutturale di edifici alti in acciaio*, Costruzioni metalliche n. 6, 1973 [7]) – l'utilizzo dell'acciaio è diagrammato in funzione del numero di piani.

In generale le scelte del progettista hanno scarsa influenza sulla prima quota di costi ma hanno molto rilievo sulla seconda, soprattutto in funzione dei cosiddetti elementi controventanti adottati.

Attualmente, nelle scelte preliminari, un corretto uso delle procedure dell'intelligenza artificiale (con la predisposizione di un sistema esperto) può assistere il progettista giungendo fino ad un prototipo progettuale di riferimento per valutazioni tecniche ed economiche.

Nella nostra formulazione (A.Cauvin, G. Stagnitto, *A Top-Down procedure for preliminary design of tall building structures using Expert Systems*, Fifth World Congress in Amsterdam of the Council on Tall Buildings and Urban Habitat, 1995) è stato adottato l'approccio definito "model oriented".

6. Elementi controventanti piani

Fino a medie altezze la struttura a telaio può assicurare sufficiente stabilità per la rigidità dei giunti tra travi e pilastri, che assicura la resistenza alle azioni orizzontali oltre ai carichi verticali.

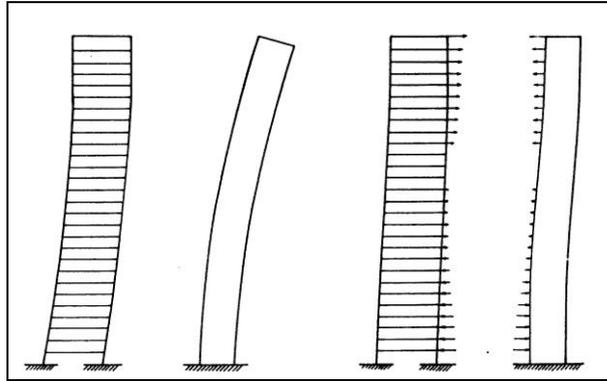
Questa rigidità è assicurata dalla monoliticità del getto nelle strutture in cemento armato e da particolari accorgimenti costruttivi nel caso delle strutture in acciaio.

Tuttavia l'altezza dell'edificio può raggiungere certe misure solo separando nella costruzione la funzione di reggere i carichi verticali da quella di resistere alle azioni orizzontali.

La funzione strutturale di resistere alle azioni orizzontali può essere assicurata da un nucleo ovvero dalle stesse pareti perimetrali opportunamente controventate (edifici tubolari).

Si usano elementi controventanti in calcestruzzo o in acciaio: sorge in tal caso il problema del calcolo delle mutue azioni di scambio tra elementi strutturali diversi.

In muri di controventamento privi di aperture, lo schema è quello di una mensola semplice la cui deformata è qualitativamente diversa da quella di un telaio.



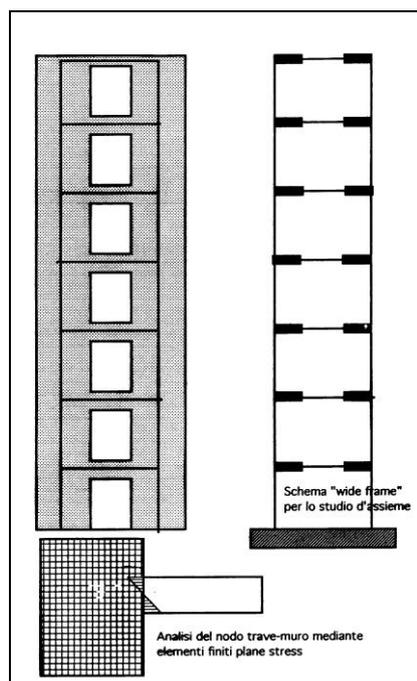
Avviene infatti che in edifici bassi è il muro che trattiene il telaio, mentre in edifici alti si ha il contrario: quindi le azioni mutuamente scambiate tra le due strutture resistenti cambiano segno a partire da una certa quota.

7. II calcolo dei muri accoppiati di controventamento

L'apertura di porte e finestre nei muri di controventamento porta ai cosiddetti muri accoppiati; il problema è bidimensionale ma, operando opportune semplificazioni, può essere reso monodimensionale.

Con un procedimento analitico, dovuto a Beck (1962) e a Rosman (1964), si ipotizza un collegamento continuo a taglio.

Con un procedimento di calcolo discreto si usa lo schema detto *wide frame* (letteralmente telaio largo) nel quale le travi di collegamento hanno un tratto terminale infinitamente rigido. Si ha un elemento di trave composto per il quale va calcolata appositamente la matrice di rigidezza.

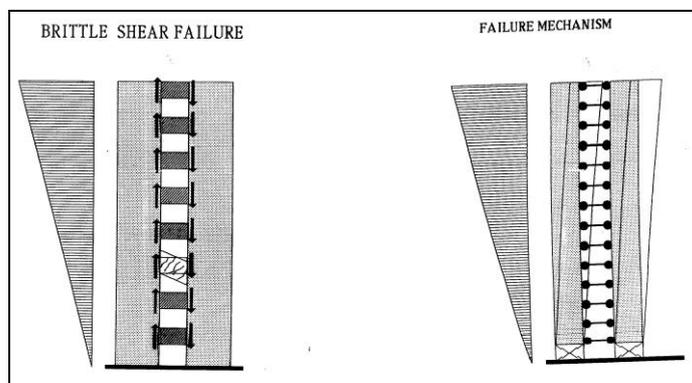


Schema di calcolo detto *wide frame*

Lo schema modella il funzionamento di insieme, ma non è adatto per determinare le sollecitazioni all'attacco tra la trave ed i muri di controventamento.

Si hanno due tipi di rottura possibili:

- di tipo flessionale, evidenziate da cerniere plastiche negli estremi delle travi
- di taglio: di tipo fragile, se le travi sono rigide.



Possibili rotture nei collegamenti dei muri di controventamento

All'aumentare del taglio nelle travi di collegamento diminuisce il momento alla base dei muri accoppiati; questo effetto può essere voluto affinché il terremoto provochi rotture localizzate e non collasso globale.

8. Elementi controventanti scatolari

Assicurano maggiore resistenza agli effetti torcenti. Possono essere:

- a nucleo centrale
- a tubo o a *tube in tube* (cioè con nuclei centrale e periferico):
- con maglia di pilastri e travi di piccola luce, come era il *World Trade Center* di New York
- con maglia più larga, irrigidita da elementi diagonali, come il *John Hancock Center* di Chicago
- cellulare, a fascio di tubi, come la *Sear Tower* di Chicago

9. Il calcolo lineare elastico semplificato delle strutture alte

In generale il problema è spaziale e non riducibile al piano.

L'ipotesi di infinita rigidità dei solai, nel loro piano, semplifica il problema perché abbatte il numero delle incognite.

Soluzioni approssimate si ottengono adottando l'ipotesi di connessioni continue tra gli elementi di controventamento e mediante "l'impostazione di semplici condizioni di congruenza ad alcuni livelli e non in modo diffuso, come richiederebbe la soluzione rigorosa del problema ricondotto al continuo" (P. Pozzati, *Teoria e tecnica delle strutture*, Torino, 1977, Parte 2. pag. 382).

Nell'ipotesi di trascurare la rigidità torsionale dei singoli controventi, la resistenza alle azioni orizzontali è unicamente di tipo flessionale (anche se la presenza di eventuali telai può essere trascurata solo se l'edificio non è troppo alto).

Se la risultante delle azioni esterne passa per il baricentro delle rigidità del piano, tagli e momenti si ripartiscono in modo proporzionale alle rigidità dei singoli muri.

Se la risultante non passa per il baricentro delle rigidità si ha un momento torcente che provoca nei muri dei tagli aggiuntivi; il momento flettente è ottenuto con l'integrazione del taglio complessivo ricavato.

10. Problemi strutturali negli edifici alti

Anche i grandi carichi assiali inducono problematiche speciali: infatti l'accorciamento dei pilastri centrali (più caricati di quelli di bordo) dà luogo ad un momento positivo che va a ridurre il momento negativo sugli stessi pilastri centrali, col risultato di un aumento dei momenti positivi in campata. Questo effetto è differente nei diversi piani.

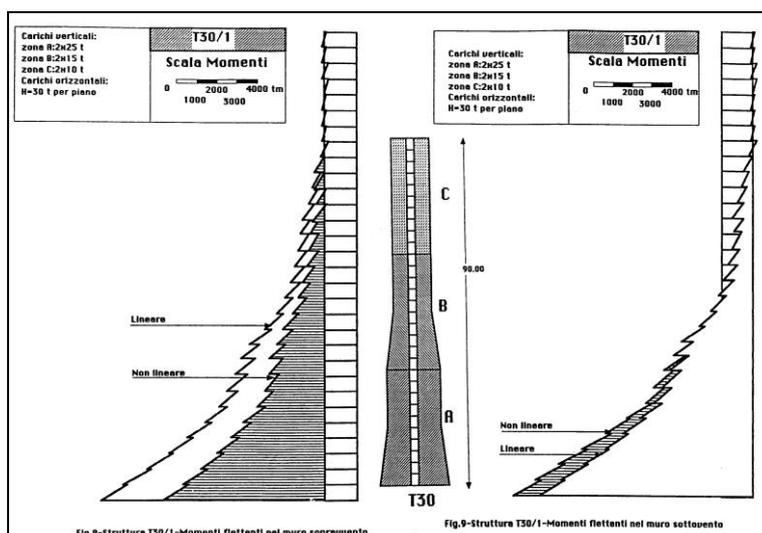
Al fine di usare solai uguali, favorendo l'industrializzazione della costruzione, si adottano tre soluzioni:

- solai appoggiati che evitino il momento di continuità centrali;
- solai sospesi a tiranti, con il vantaggio di minori ingombri delle strutture verticali;
- pilastri dimensionati per compensare le differenze di accorciamento.

11. La necessità di un'analisi non lineare per elementi In c.a.

Un calcolo lineare ignora la fessurazione che fa diminuire in modo dissimile la rigidità degli elementi, con una conseguente diversa distribuzione di resistenze tra i vari controventamenti.

Ad esempio nel caso di muri accoppiati di controventamento, la parte in trazione (sopravento) si fessura prima e quindi diminuisce la sua resistenza alle azioni flettenti: si ha una redistribuzione dei momenti che può essere colta solo da una analisi non lineare.

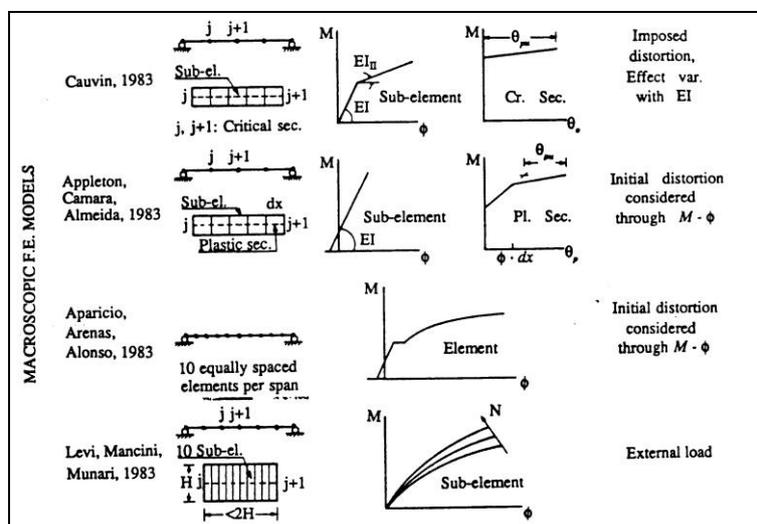


Ridistribuzione delle azioni flettenti rilevabili da un calcolo non lineare

Nei calcoli è necessario considerare anche la possibilità di una rottura per taglio in alcuni traversi, anche se è osservabile l'evolversi del fenomeno fino al collasso globale. E' interessante notare che la redistribuzione dei momenti tra i muri non dà generalmente luogo ad una compensazione tra le due coppie flettenti: infatti il calcolo non lineare denuncia un aumento dell'azione tagliante nei traversi che ristabilisce l'equilibrio globale (A. Cauvin, *Non-linear behaviour of coupled shear walls in tall buildings*, Fourth World Congress in Hong Kong of the Council on Tall Buildings and Urban Habitat, 1990).

12. Metodologia computazionale, secondo la formulazione del Prof. Cauvin

La metodologia computazionale segue l'approccio definito da Riva e Cohn, in un articolo di sintesi [6], a *modello macroscopico*.



Modelli macroscopici per il calcolo non lineare del cemento armato []

La struttura è risolta con il metodo cosiddetto incrementale; ad ogni incremento di carico è risolto un sistema di equazioni di equilibrio in cui la matrice di rigidezza della struttura è aggiornata in funzione dello stato deformativo raggiunto al passo precedente.

Ogni asta è divisa in sub-elementi. Ciascun sub-elemento è considerato non fessurato finché al lembo teso non si raggiunge la tensione media a trazione del calcestruzzo.

Quando questa resistenza è raggiunta si introduce nei calcoli la rigidezza corrispondente all'elemento fessurato, che tiene conto del calcestruzzo teso tra le fessure.

Questo fenomeno, detto di *tension stiffening*, è modellato da un'area fittizia di acciaio tesa che diminuisce al crescere del momento.

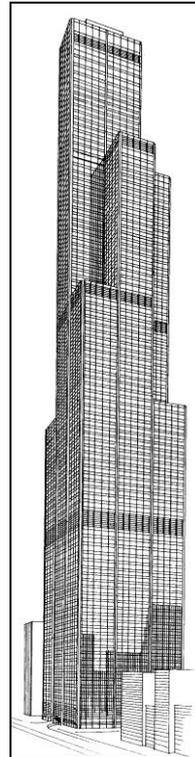
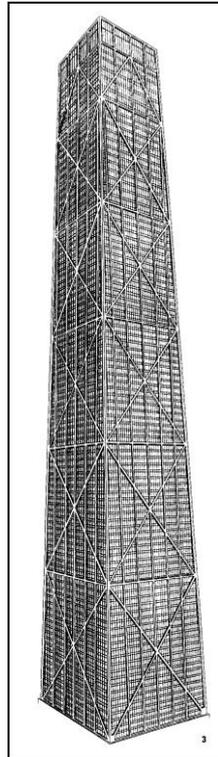
Ad ogni passo, oltre all'inerzia, è modificato anche il modulo elastico in funzione del rapporto tra il momento medio del cono ed il momento ultimo resistente, calcolato in base alle leggi dei materiali della normativa.

Quando in una sezione il momento supera questo momento ultimo si introduce nella sezione una cerniera plastica.

Il procedimento descritto si arresta quando è sorpassata la capacità rotativa della sezione (cosiddetta verifica di duttilità) ovvero quando la matrice non è più invertibile per la formazione di un meccanismo di collasso o per instabilità della struttura.

13. La Seconda Scuola di Chicago

Fazlur Khan, progettista delle strutture del *John Hancock Center* e delle *Sears Tower* di Chicago (opere della Società di Ingegneria *Skidmore, Owings and Merrill*) è l'esponente di spicco della cosiddetta *Seconda Scuola di Chicago*.



John Hancock Center Building di Chicago Sears Towers di Chicago

Il *John Hancock Center Building* di Chicago è un edificio di 100 piani alto 344 m, rastremato verso l'alto e con possenti diagonali nella facciata: le controventature sono cioè portate all'esterno della costruzione.

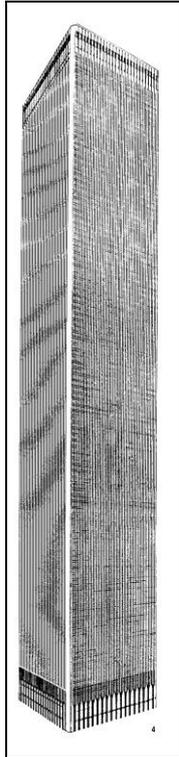
L'ossatura portante interna è calcolata per i soli carichi verticali: tutte le forze orizzontali sono riportate al tubo esterno.

La *Sears Towers* di Chicago di 109 piani e 445 m è costituita da un fascio di nove tubi pianta quadrata con il lato di 22,5 m; di questi solo due sono elevati fino alla massima altezza.

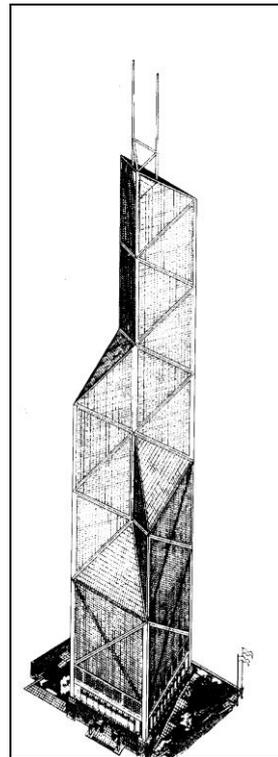
14. Esempi di grattacieli a struttura tubolare

Il *World Trade Center* di New York era costituito da due torri di 110 piani e 417 m. La facciata si presentava come una tessitura di pilastri cavi (di lato 45 cm) con 1 m di interasse collegati da traversi in acciaio. Il lato del quadrato in pianta era 63,5 m.

La *Bank of China* di Honk-Kong di 70 piani e 368 m (1988) è stata concepita per resistere ad azioni orizzontali di intensità straordinaria: le quattro colonne che partono dalla base sono composite in acciaio e cemento armato. Ha una controventatura esterna che incornicia la facciata di vetro e alluminio.



World Trade Center di New York



Bank of China di Honk-Kong

15. Elenco dei grattacieli più alti

Fino a pochi anni fa (in base alla tavola *World's Tallest Buildings* del Fourth World Congress in Hong Kong of the Council on Tall Buildings and Urban Habitat, 1990) oltre 100 grattacieli superavano i 200 m, e solo 10 (considerando distinte le due torri del World Trade Center di New York) superavano i 300 metri:

1. *Sears Tower* di Chicago (1974), 110 piani, 443 m
2. *World Trade Center North* di New York (1972), 110 piani, 417 m
3. *World Trade Center South* di New York (1973), 110 piani, 415 m
4. *Empire State Building* di New York (1931), 102 piani, 381 m
5. *Bank of China Tower* di Hong Kong (1988). 72 piani, 368 m
6. *Amoco (Standard Oil) Building* di Chicago (1973), 80 piani, 346 m
7. *John Hancock Center* di Chicago (1968), 100 piani, 344 m
8. *Chrysler Building* di New York (1930). 77 piani. 319 m
9. *Library Square Tower (First Interstate World Center)* di Los Angeles (1989), 75 piani, 310 m
10. *Texas Commerce Plaza* di Houston (1982), 75 piani, 305 m

Successivamente il primato dell'altezza (anche se per soli 7 m) è diventato quello delle *Petronas Towers* di Kuala Lumpur (Malaysia), alte 450 m. Attualmente questo primato di massima altezza è stato superato dal grattacielo di Taipei (Taiwan) con 508 metri.

16. Bibliografia

- [1] G. Pizzetti, A. M. Zoragno Trisciunglio, *Principi statici e forme strutturali*, Torino, 1980
- [2] K. Frampton, *Storia dell'architettura moderna*, Bologna, 1982
- [3] E. Torroja, *La concezione strutturale*, Torino, 1960
- [4] D. P. Billington, *The tower and the bridge*, New York, 1983
- [5] S. Giedion, *Spazio, tempo ed architettura*, II ed. it, Milano, 1984
- [6] P. Riva, M.Z. Cohn, *Engineering approach to non linear analysis of concrete structures*, Journal of Structural Engineering ASCE, Vol.116 n.8, August, 1990
- [7] L. Finzi, *Sulla progettazione strutturale di edifici alti in acciaio*, Costruzioni metalliche n. 6, 1973
- [8] E. Benvenuto, *La scienza delle costruzioni e il suo sviluppo storico*, Firenze, 1981
- [9] M. Panizza, *Mister Grattacielo*, Bari, 1990
- [10] C.T.A., *Contributi alla STORIA DELLA COSTRUZIONE METALLICA*, a cura di V. Nascè, Firenze, 1982
- [11] A. Cauvin, *Non-linear behaviour of coupled shear walls in tall buildings*, Fourth World Congress in Hong Kong of the Council on Tall Buildings and Urban Habitat, 1990
- [12] A. Cauvin, G. Stagnitto, *A Top-Down procedure for preliminary design of tall building structures using Expert Systems*, Fifth World Congress in Amsterdam of the Council on Tall Buildings and Urban Habitat, 1995