

AD ASTRA PER ASPERA

A PICCOLI PASSI VERSO LA PROGETTAZIONE STRUTTURALE

SI FA PRESTO A DIRE OGGETTI

PICCOLI AGGETTI CRESCONO...

1 m



PALAZZO NICOLACI, 1765, NOTO (IT).

14 m



WOZOCO, 1997, AMSTERDAM (NL).

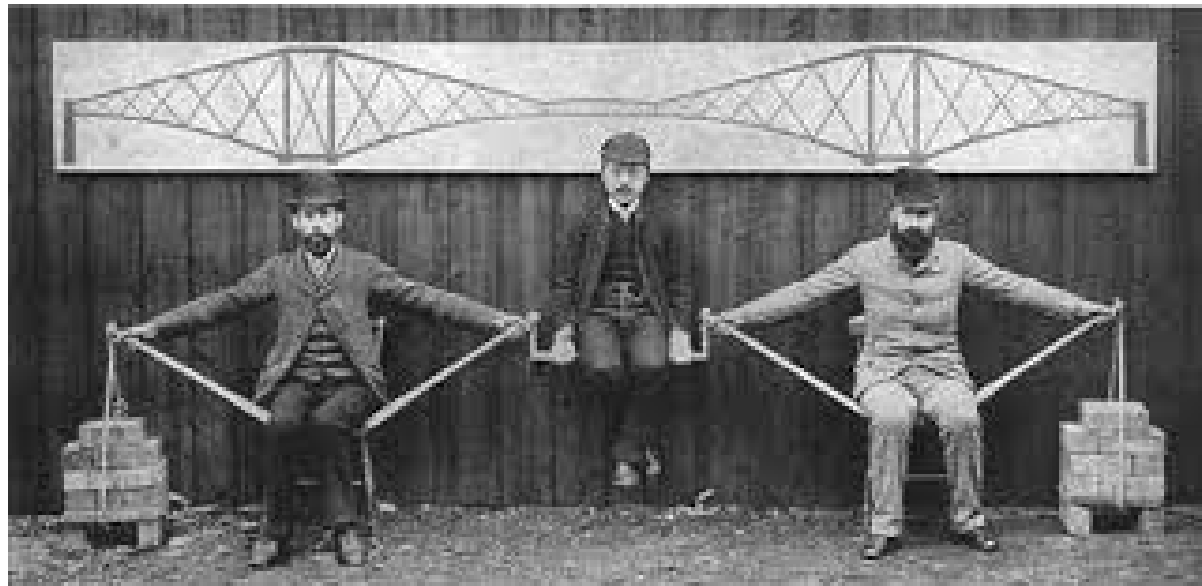
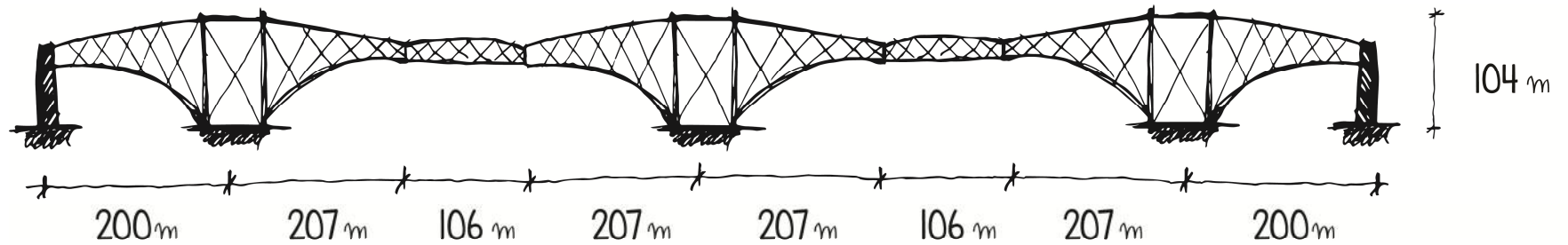
AFFRONTIAMO OGGI UN TEMA MOLTO IMPORTANTE NELLA PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA DEGLI EDIFICI: LA PRESENZA DI AGGETTI O SBALZI.

GLI AGGETTI SONO STORICAMENTE DATATI PERCHÉ SOLO L'UTILIZZO DI MATERIALI REAGENTI A TRAZIONE HA CONSENTITO L'USO DI AGGETTI DI DIMENSIONI CONSIDEREVOLI: NELL'AGGETTO DIFATTI LE FLESSIONI O LE TRAZIONI UNIFORMI SONO INELIMINABILI E DUNQUE POSSIAMO AFFERMARE CHE LA PROGETTAZIONE DI UN AGGETTO È UN PROBLEMA MODERNO.

QUANDO GLI AGGETTI DIVENTANO IMPORTANTI



FORTH BRIDGE, 1890

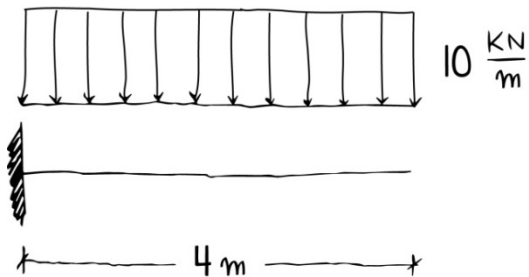
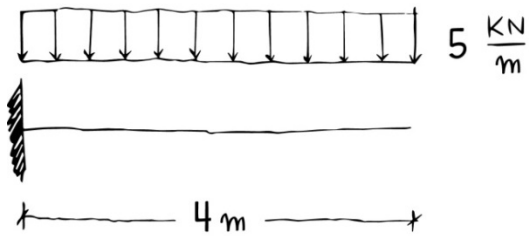
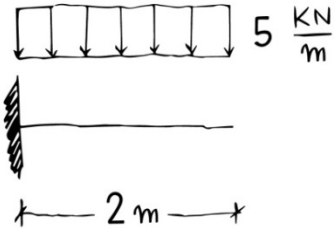


UNA DELLE DOMANDE CHE SORGE SPONTANEA QUANDO SI INTENDE PROGETTARE UN AGGETTO È QUANTO LUNGO ESSO POSSA ESSERE. LA DOMANDA È MAL POSTA OPPURE È INCOMPLETA E AD UNA DOMANDA SIFFATTA UN PROGETTISTA CONSAPEVOLE NON PUÒ CHE RISPONDERE: “DIPENDE”.

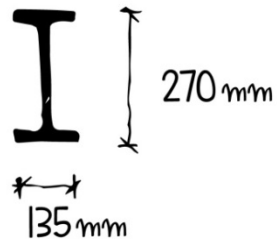
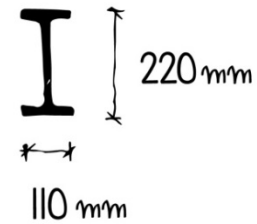
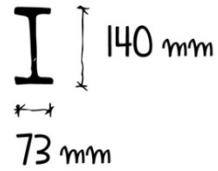
A TAL RIGUARDO L'ANALISI DI AGGETTI DALLE CONSIDEREVOLI DIMENSIONI POSSONO AIUTARE A COMPRENDERE QUALE ALTRE CONDIZIONI DEBBANO SUSSISTERE: IN FIGURA C'È UN'IMMAGINE DEL FORTH BRIDGE, IL CUI SCHEMA STRUTTURALE CON LE DIMENSIONI È A DESTRA E SOTTO UN'ESEMPLIFICAZIONE ANTROPOMORFA. IL CUORE DELLA STRUTTURA È UNO SBALZO SIMMETRICO, CARICATO ANCHE ALLE ESTREMITÀ (C'È L'APPOGGIO DELLA CAMPATA CENTRALE, SEMPLICEMENTE APPOGGIATA) REALIZZATO DA UNA TRAVATURA RETICOLARE A SEZIONE VARIABILE CHE REALIZZA UNA MENSOLA DI DIMENSIONI CRESCENTI VERSO L'INCASTRO, RAPPRESENTATO DAL PILONE DEL PONTE. LA PRIMA COSA CHE SI NOTA È QUINDI CHE A FRONTE DI UNA LUCE CONSIDEREOLE DELL'AGGETTO IL PROGETTISTA PREDISPONE UNA GRANDE ALTEZZA. QUINDI, PER AVERE UN AGGETTO CI VUOLE ALTEZZA.

UN DUELLO STORICO: ALTEZZA VS MATERIALE

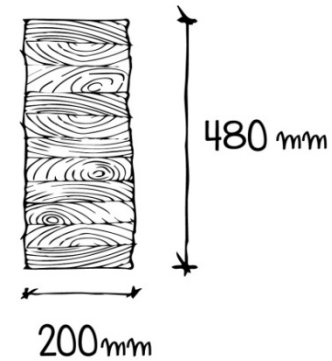
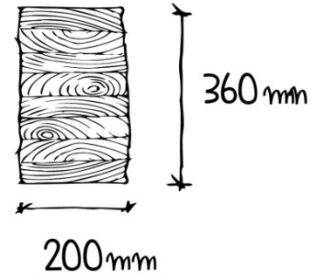
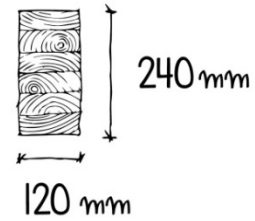
SCHEMA



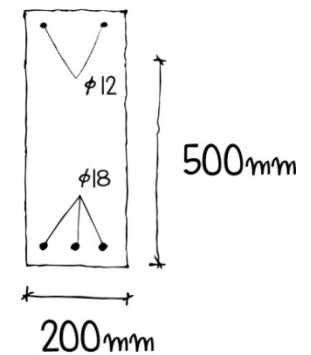
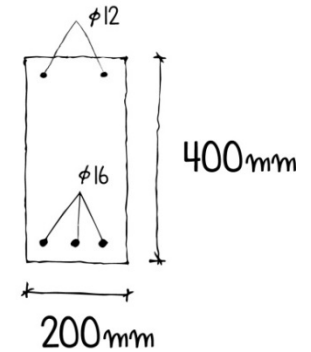
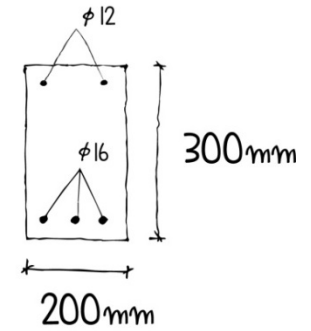
ACCIAIO



LEGNO

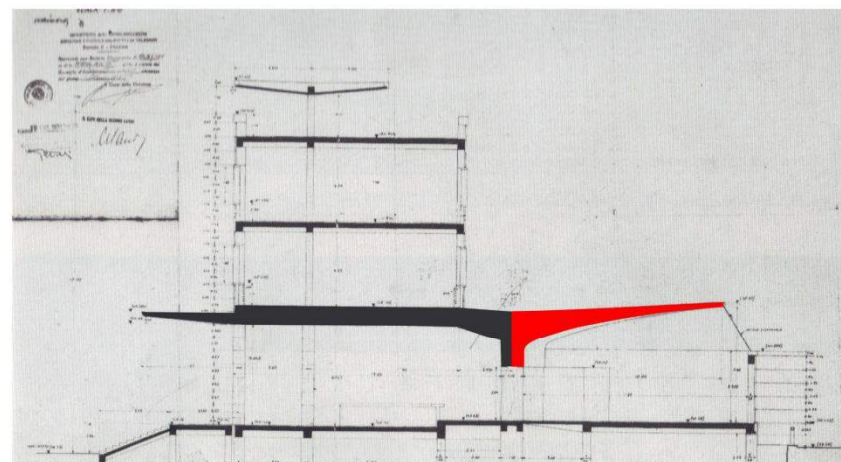
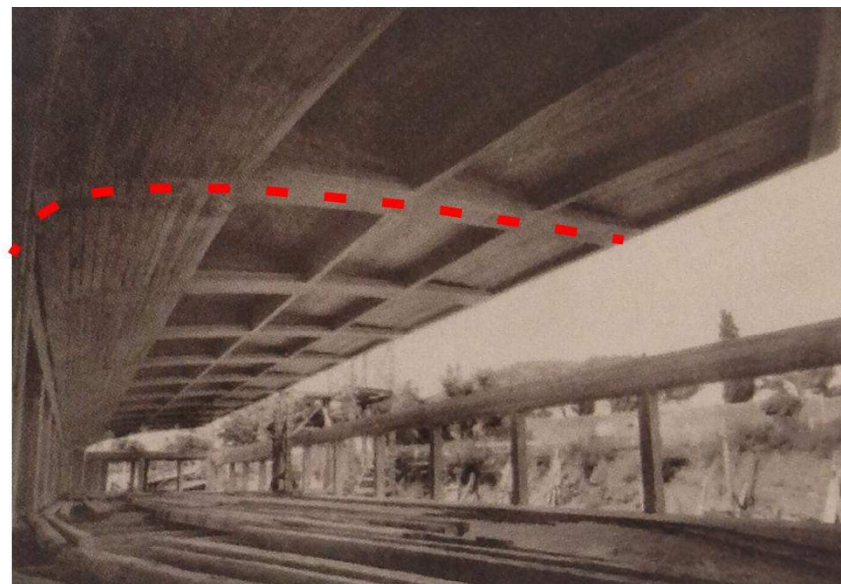
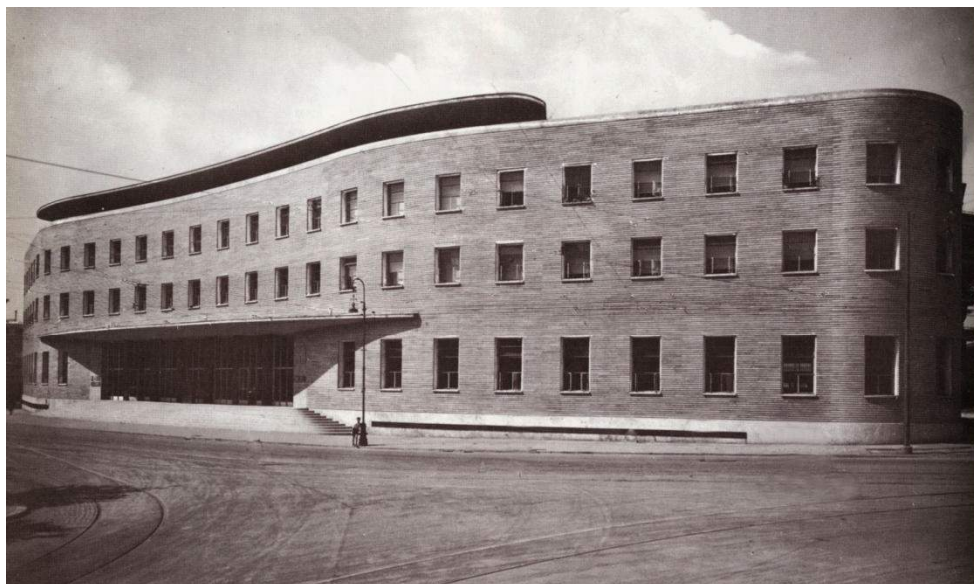


CEMENTO ARMATO



LE IMMAGINI PRESENTANO CIÒ CHE ACCADE ALL'AUMENTARE DELLA LUCE MA ANCHE DELL'IMPEGNO IN TERMINI DI CARICO (IN TERMINI DI PIANI PORTATI). INNANZITUTTO UNA REGOLA GENERALE PER IL PROGETTO A RESISTENZA È QUELLA CHE UNA TRAVE A SBALZO DI LUCE L EQUIVALE IN ALTEZZA AD UNA TRAVE DOPPIAMENTE APPOGGIATA DI LUCE $2L$, PERCHÉ RISULTA EGUALE IL MOMENTO MASSIMO DI PROGETTO. QUINDI, SE TENIAMO CONTO DELLA SOLA RESISTENZA LE SEZIONI PIÙ ALTE VENGONO QUELLE IN CEMENTO ARMATO, SEGUITE DA QUELLE DI LEGNO ED INFINE QUELLE DI ACCIAIO.

LE TRAVI AD UNIFORME RESISTENZA

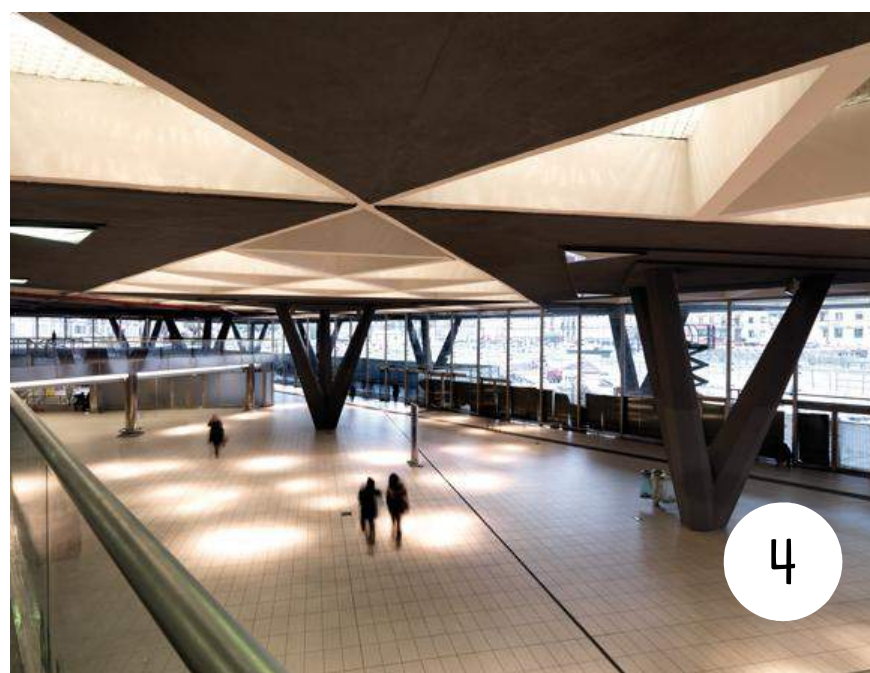


LA SEZIONE DIMINUISCE AL DIMINUIRE
DEL MOMENTO FLETTENTE

PER LUCI MAGGIORI DI DIECI METRI SI POSSONO PROGETTARE TRAVI AD UNIFORME RESISTENZA, OSSIA AD ALTEZZA VARIABILE PROGETTATA TENENDO CONTO NON DEL MOMENTO MASSIMO, MA DEL MOMENTO AGENTE SU OGNI SEZIONE.

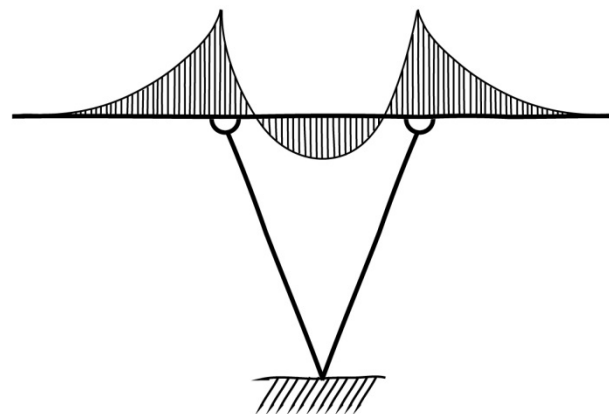
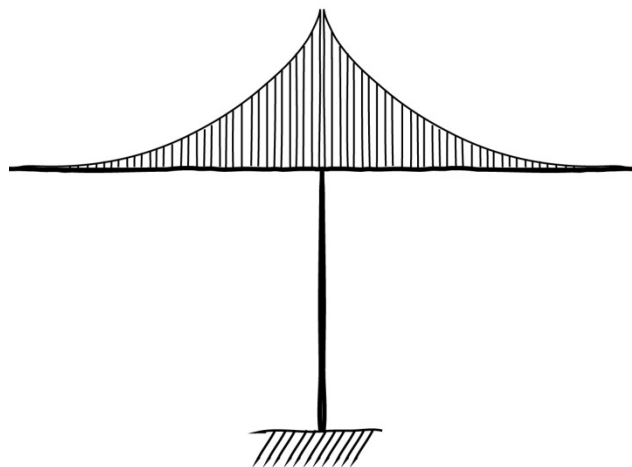
(DA MODERNISMI ITALIANI, ARCHITETTURA E COSTRUZIONE NEL NOVECENTO: COPERTURA SALA PORTALETTERE POSTE DI PIAZZA BOLOGNA, TRAVE IN CALCESTRUZZO ARMATO A SEZIONE VARIABILE)

COME AIUTIAMO GLI AGGETTI?



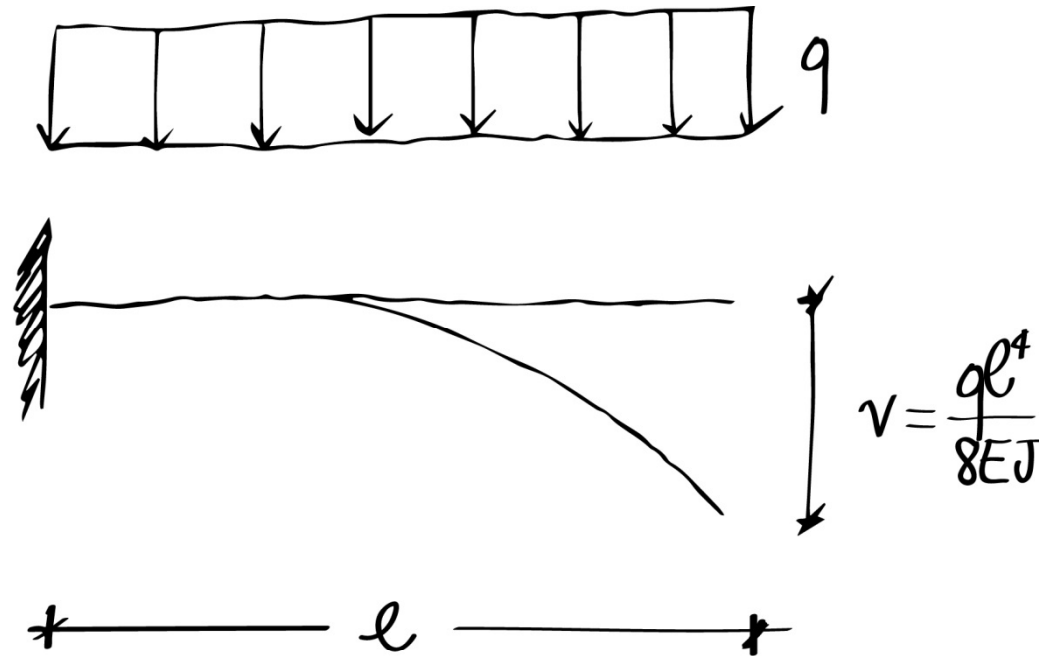
ALTRI ACCORGIMENTI POSSONO ESSERE PRESI PER DIMINUIRE LA LUCE DELLA TRAVE, PUR MANTENENDO UN OGGETTO SUFFICIENTEMENTE LUNGO.

SI POSSONO UTILIZZARE SEMIARCHI (1) O PILASTRI A V (4) PER TRASFORMARE LA LUCE A SBALZO IN UNA TRAVE CONTINUA SU VARI APPOGGI CON UNA MENSOLA ALL'ESTREMITÀ,



OPPURE SI PUÒ SPEZZARE LA LUCE DELL'OGGETTO MEDIANTE PUNTONI (2) O STRALLI (3).

CI DOBBIAMO PREOCCUPARE DEGLI ABBASSAMENTI?



ACCIAIO

(IPE 140)

I

$$E = 210 \times 10^3 \text{ MPa}$$

$$J = 541,2 \text{ cm}^4$$

LEGNO

(240×120mm)

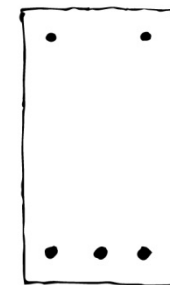


$$E = 11,6 \times 10^3 \text{ MPa}$$

$$J = 13824 \text{ cm}^4$$

CEMENTO ARMATO

(300×200mm)



$$E = 32 \times 10^3 \text{ MPa}$$

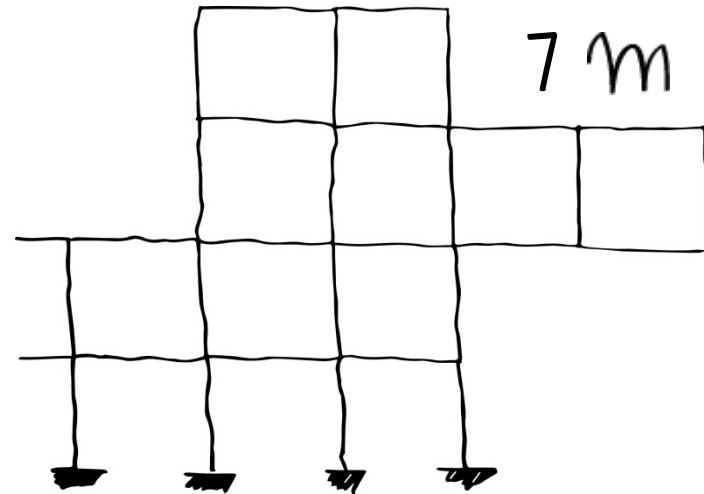
$$J = 45000 \text{ cm}^4$$

PER QUANTO RIGUARDA LA DEFORMABILITÀ, DOBBIAMO ANALIZZARE LA FORMULA PARAMETRICA DELL'ABBASSAMENTO MASSIMO DI UNA MENSOLA SOGGETTA A CARICO UNIFORME. OVVIAMENTE, LO SPOSTAMENTO MASSIMO È INVERSAMENTE PROPORZIONALE A EJ , CHE NELLE VARIE TECNOLOGIE ASSUME VALORI DIVERSI SIA PER LA DIVERSITÀ DI E , SIA PER L'ESTREMA DIVERSITÀ DI J . DA CIÒ SI DEDUCE CHE IL MATERIALE PIÙ RESISTENTE PROPRIO PERCHÉ PIÙ RESISTENTE, CONSENTE L'UTILIZZO DI SEZIONI PIÙ RIDOTTE CHE AVENDO UN MOMENTO DI INERZIA PIÙ BASSO REGISTRANO MAGGIORI SPOSTAMENTI.

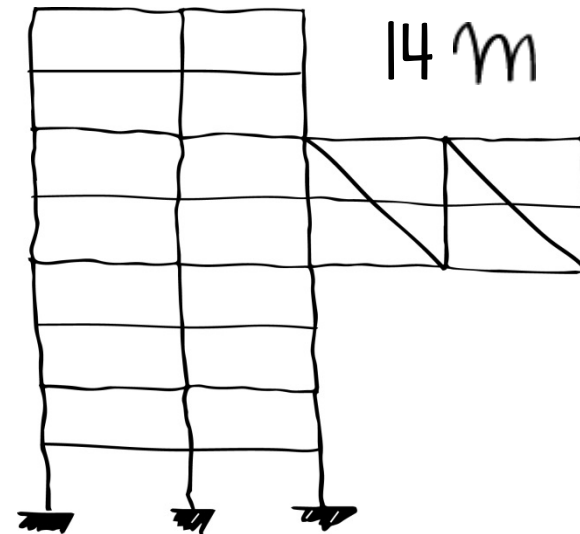
NON SOLO TRAVI...



BOURBON LANE, LONDON (UK), 2007

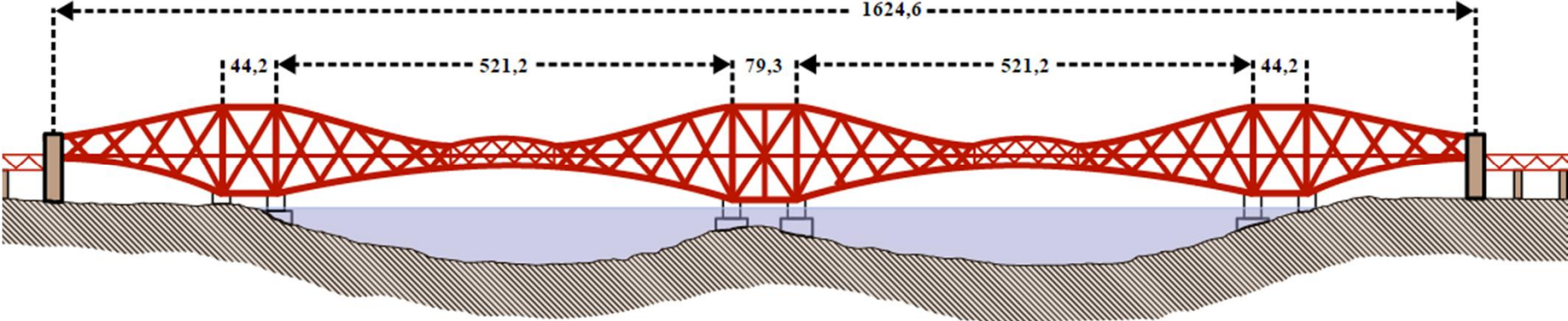


WOZOCO, AMSTERDAM (NL), 1997

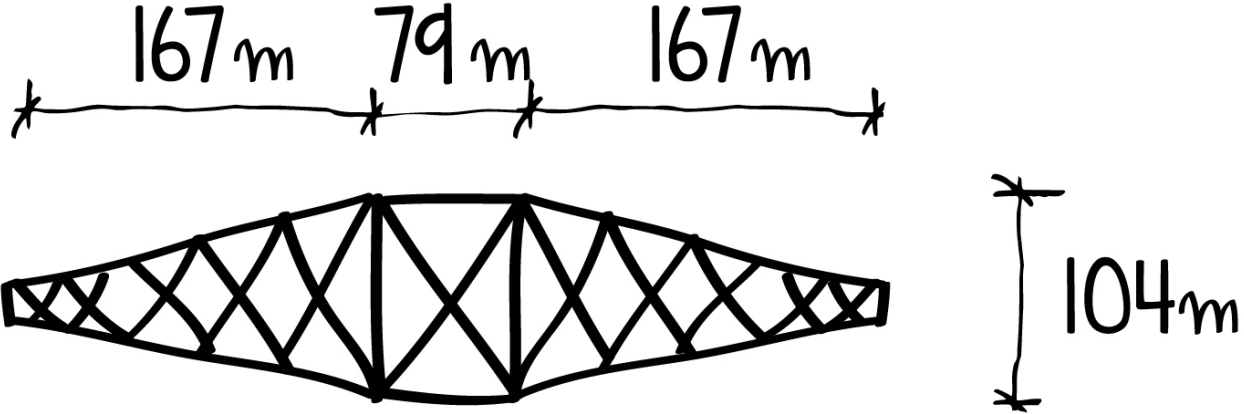


AL DI LÀ DI POCHI METRI PER TRAVI A SEZIONE UNIFORME, O ANCHE FINO ALLA DECINA DI METRI (MA UN SOLO PIANO, TIPICAMENTE DI COPERTURA) PER TRAVI A SEZIONE VARIABILE, PER AGGETTI DI DIMENSIONI NON LIMITATE ED AGGETTI MULTIPIANO LO SCHEMA DI SEMPLICE TRAVE NON BASTA PIÙ E BISOGNA PASSARE A SCHEMI STRUTTURALI A TRAVE VIERENDEEL O TRAVE RETICOLARE CHE INVADONO LA PARETE LATERALE E QUINDI PONGONO IL PROBLEMA DEI PROSPETTI E DELLE APERTURE NEI PROSPETTI. IN FIGURA UN EDIFICIO CON VIERENDEEL A SBALZO, O ANCHE EDIFICI A PARETE CON TRAVI RETICOLARI.

DAL LOCALE AL GLOBALE: UN GIOCO DI PROPORZIONI



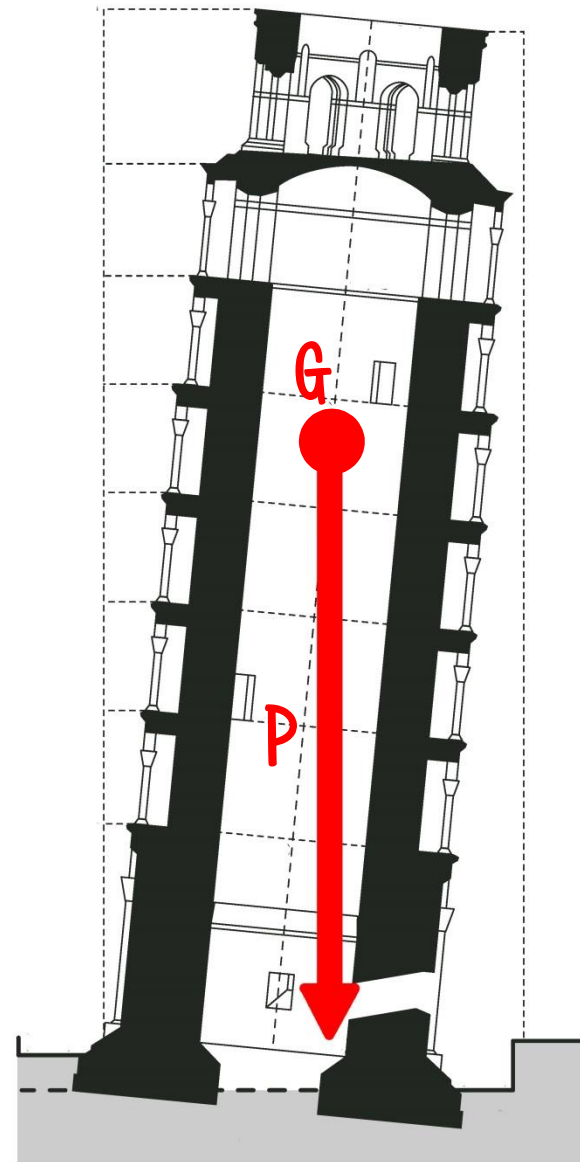
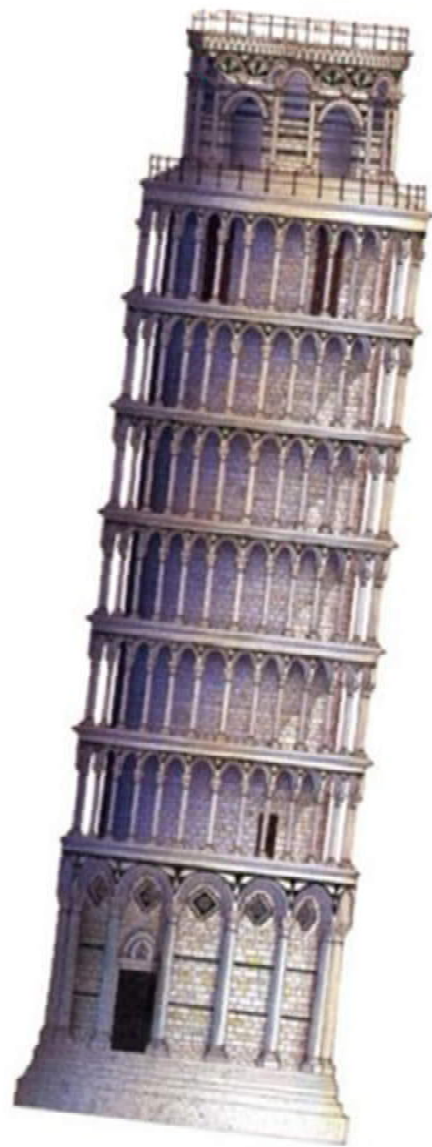
FORTH BRIDGE, 1890



GLI EFFETTI CONSIDERATI E COMMENTATI NELLE SLIDE PRECEDENTI SONO EFFETTI LOCALI, MIRANTI CIOÈ A CHIEDERSI SE L'AGGETTO È SUFFICIENTEMENTE ALTO AFFINCHÉ SIA SUFFICIENTEMENTE RESISTENTE E NON ECCESSIVAMENTE DEFORMABILE. SONO "LOCALI" PERCHÉ SI PONGONO SOLTANTO I PROBLEMI DELL'AGGETTO E NON CONSIDERANO I PROBLEMI CHE L'AGGETTO CREA NEL RESTO DELLA STRUTTURA. QUESTI ULTERIORI PROBLEMI, NON MENO IMPORTANTI DEI PRIMI, SONO A TUTTI GLI EFFETTI "NON LOCALI". L'ATTENZIONE AI PROBLEMI NON LOCALI CI FARÀ COMPRENDERE COME TRA LE DIMENSIONI DELL'AGGETTO E LE DIMENSIONI DEL RESTO DELLA STRUTTURA DEBBANO SUSSISTERE DELLE PROPORZIONI.

I PROBLEMI NON LOCALI SONO SOSTANZIALMENTE TRE E VERRANNO ANALIZZATI IN SEGUITO.

IL PROBLEMA DEL RIBALTAMENTO

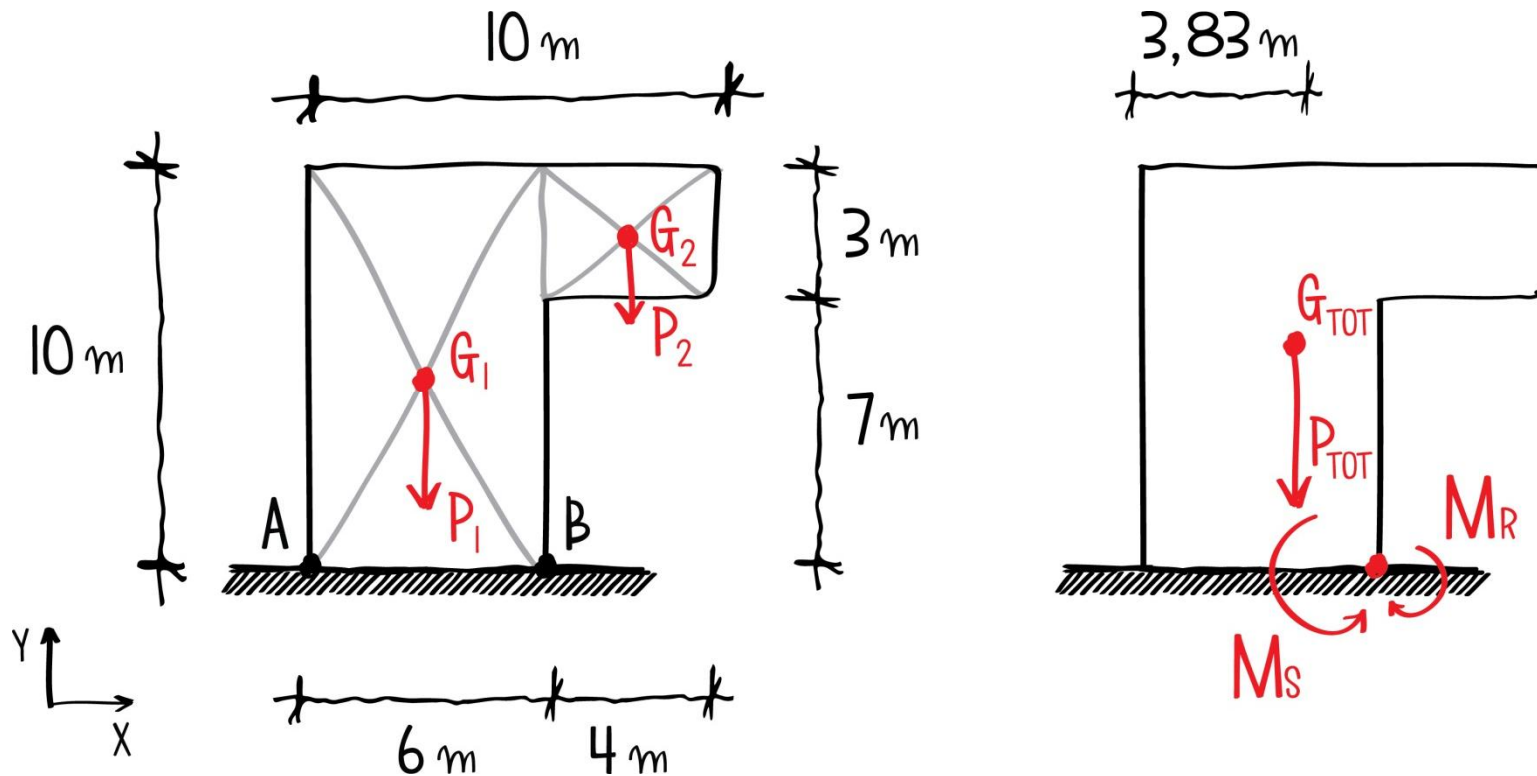


IL PRIMO PROBLEMA “NON LOCALE” È L'EQUILIBRIO DI CORPO RIGIDO DELL'EDIFICIO, OVVERO LA VERIFICA AL RIBALTAMENTO E QUINDI LA VALUTAZIONE DELLA POSIZIONE DEL BARICENTRO DEI PESI.

SE IL BARICENTRO È SALDAMENTE E AMPIAMENTE ALL'INTERNO DELLA BASE FONDALE, COME NELL'ESEMPIO DELLA TORRE DI PISA, IL PESO STABILIZZANTE RISULTA MAGGIORE DI QUELLO RIBALTANTE.

NELLA PROSSIMA SLIDE ANALizzeremo UNO SCHEMA SEMPLICE.

UNA SEMPLICE VERIFICA A RIBALTAMENTO



CONSIDERANDO UN PESO SPECIFICO DI $10 [kN/m^2]$, POSSIAMO CALCOLARE:

$$P_1 = 6[m] \cdot 10[m] \cdot 10 \left[\frac{kN}{m^2} \right] = 600[kN]$$

$$P_2 = 4[m] \cdot 3[m] \cdot 10 \left[\frac{kN}{m^2} \right] = 120[kN]$$

CALCOLO DELL'ASCISSA DEL BARICENTRO DELL'INTERA STRUTTURA RISPETTO AL PUNTO A:

$$G_{tot, x} = \frac{600[kN] 3[m] + 120[kN] 8[m]}{720[kN]} = 3,83[m]$$

IN ALTERNATIVA SI PUÒ OPERARE FACENDO IL BILANCIO DEI MOMENTI RISPETTO AL PUNTO B, OVVERO SI VALUTA IL MOMENTO STABILIZZANTE M_s E QUELLO RIBALTANTE M_r .

$$M_s = 600[kN] 3[m] = 1800[kNm]$$

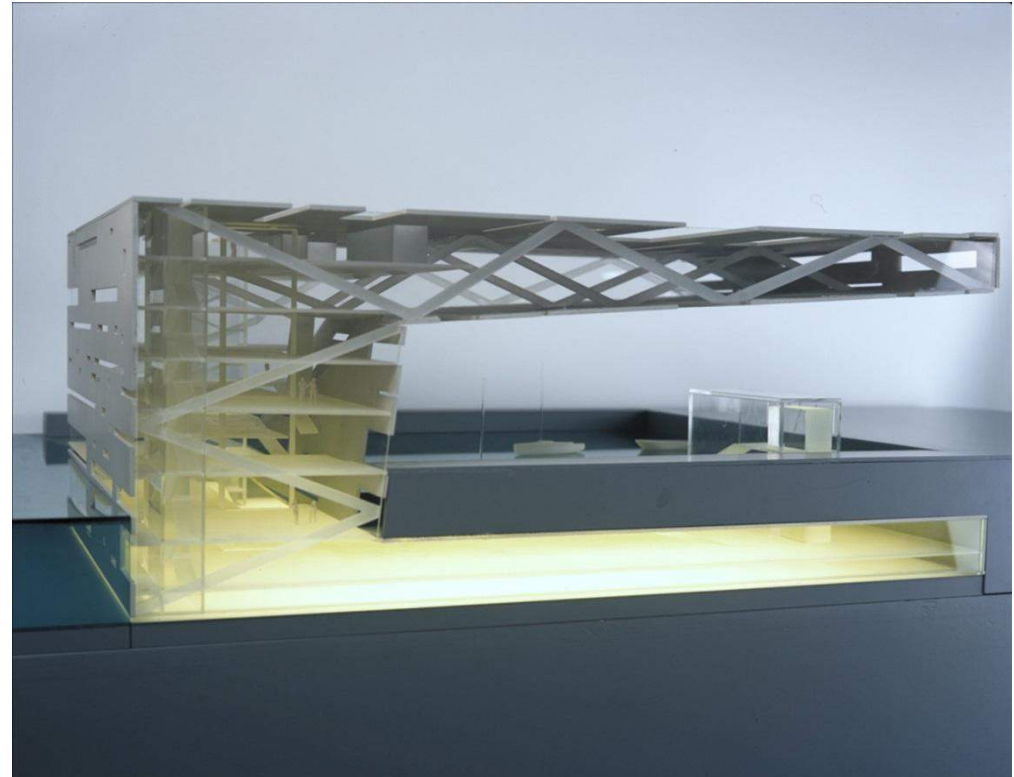
$$M_r = 120[kN] 2[m] = 240[kNm]$$

$$M_s \gg M_r$$

DALL'ARCHITETTURA CONTEMPORANEA



CCTV, REM KOOLHAAS



VILLA MÉDITERRANÉE, STEFANO BOERI



FORTH BRIDGE

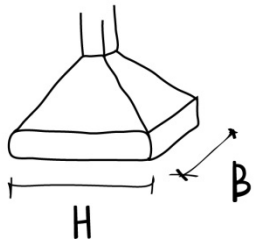
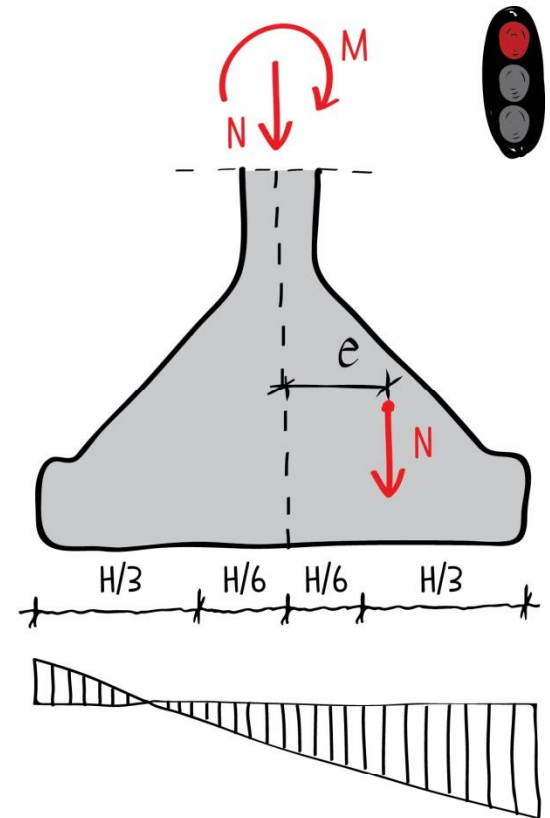
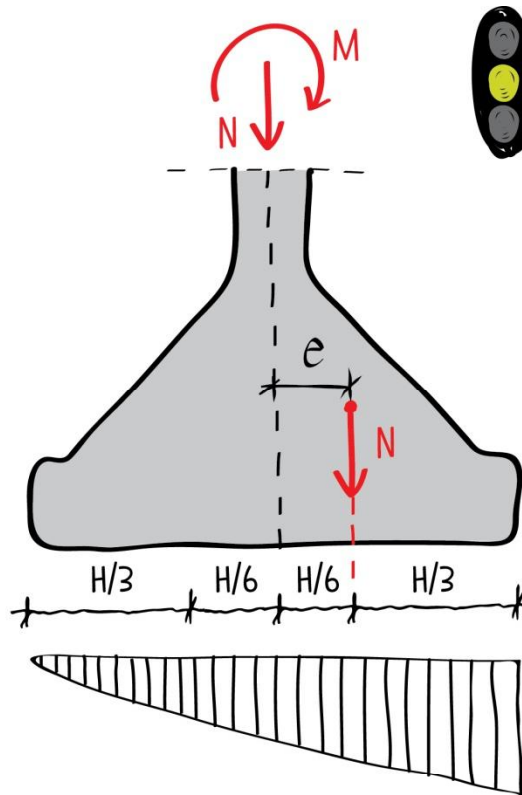
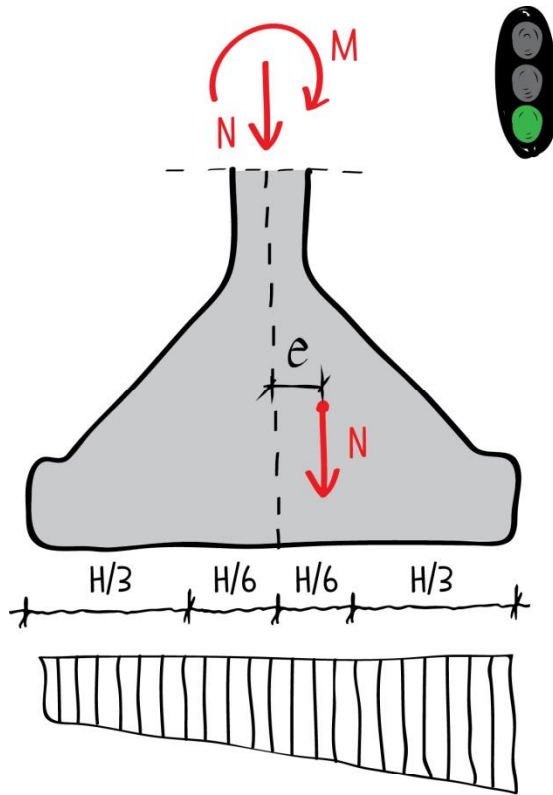
SI PUÒ VEDERE COME OGNI STRUTTURA REALIZZATA CON AGGETTI IMPORTANTI PRESENTI SEMPRE UN GRANDE VOLUME A TERRA IN GRADO DI SVILUPPARE UN MOMENTO STABILIZZANTE IN OPPOSIZIONE AL MOMENTO RIBALTANTE PROVOCATO DALL'AGGETTO.

NEL CASO DELLA VILLA MÉDITERRANÉE LA STRUTTURA STABILIZZANTE È POSTA SOTTO AL TERRENO, MENTRE NEL CCTV SI TROVA SPECULARMENTE ALL'AGGETTO E CON VOLUME E PESO MAGGIORI.

INFINE POSSIAMO APPREZZARE LA SIMMETRIA NEGLI AGGETTI SUI PILONI DEL FORTH BRIDGE, CHE GARANTISCONO LA SICUREZZA AL RIBALTAMENTO.

QUANTO SOFFRE IL TERRENO?

(OLTRE AL FATTO CHE TUTTI LO TRASCURANO?)



$$e = \frac{M}{N} \quad \sigma_{max} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} \quad \sigma_{min} = \frac{N}{A} - \frac{M}{W}$$

dove: $A = B H$ $W = \frac{B H^2}{6}$

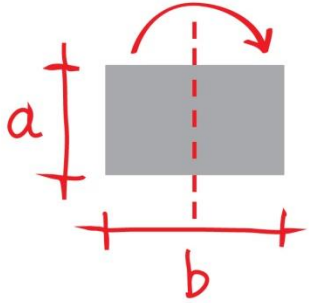
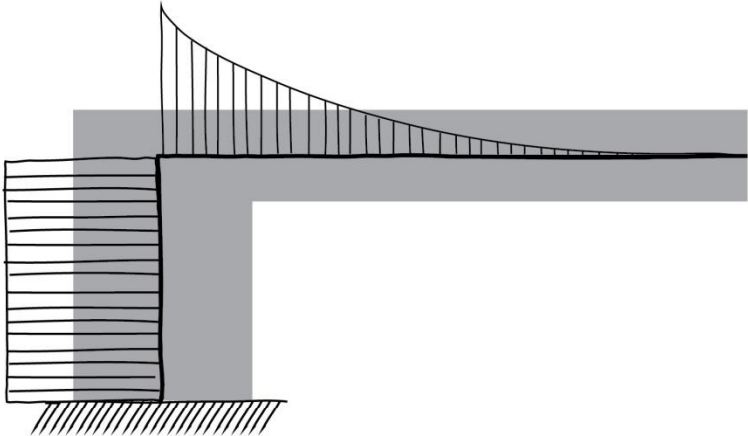
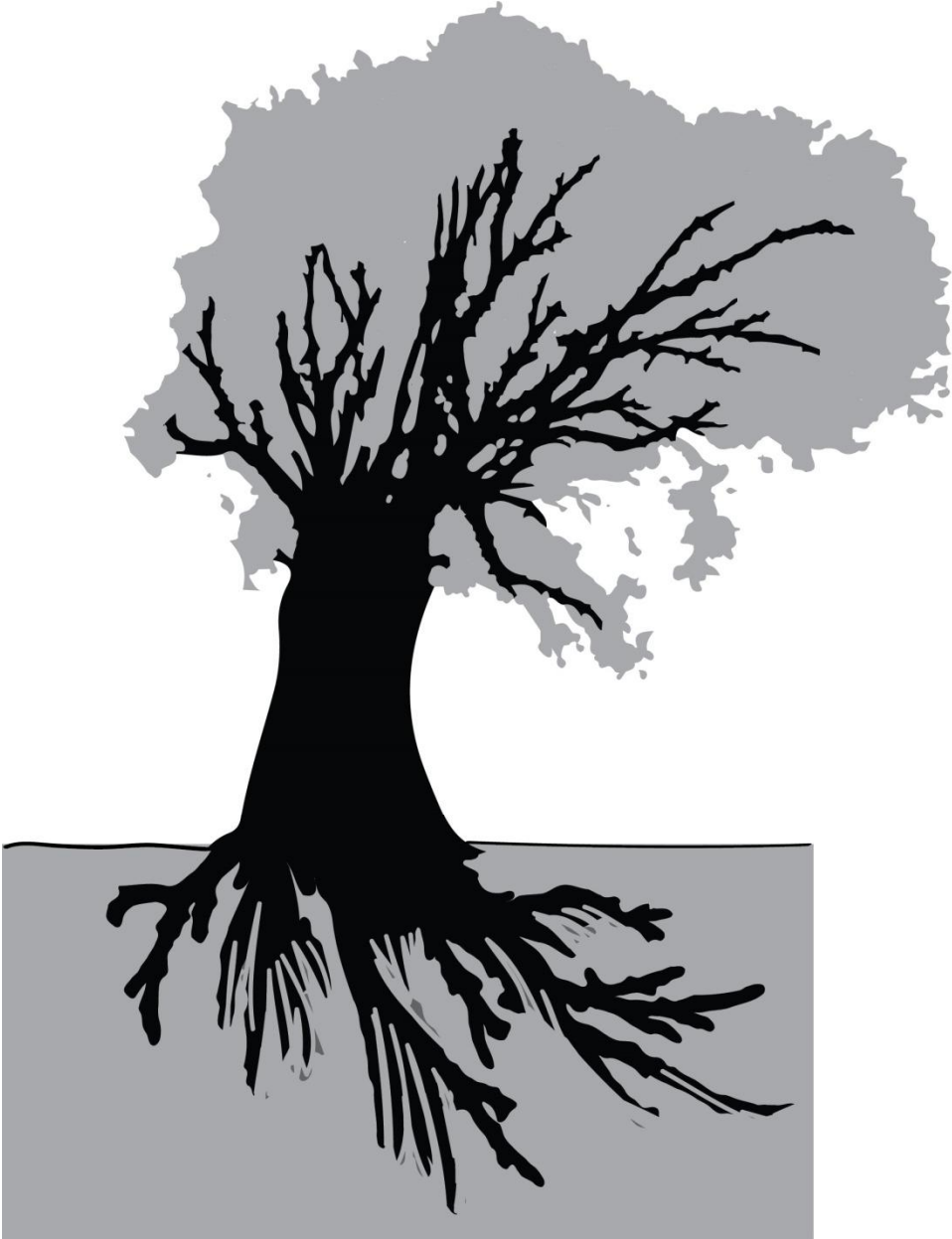
IL SECONDO PROBLEMA È RELATIVO ALLE SOLLECITAZIONI CHE UNA STRUTTURA CON GRANDI AGGETTI TRASFERISCE AL TERRENO (CARICHI ECCENTRICI).

COME SI PUÒ VEDERE NEL PRIMO SCHEMA (SEMAFORO VERDE), QUANDO LA RISULTANTE DELLE FORZE VERTICALI RICADE ALL'INTERNO DEL TERZO MEDIO TUTTA LA FONDAZIONE AGISCE SUL TERRENO CON UNO SFORZO DI COMPRESSIONE.

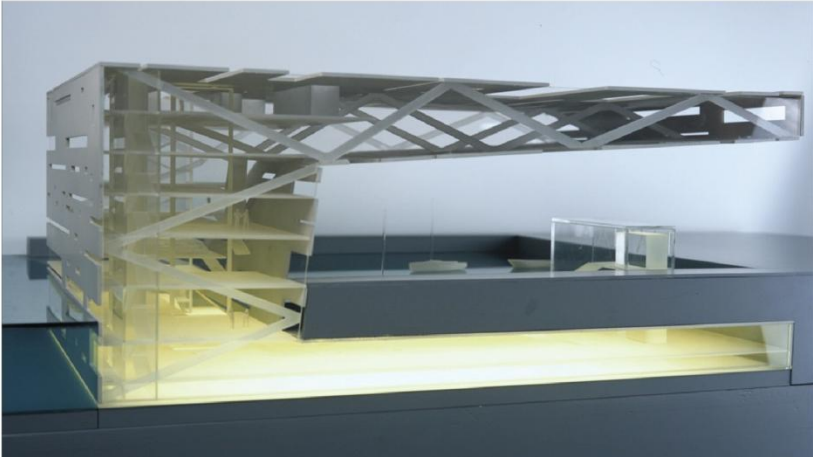
NEL SECONDO SCHEMA È ILLUSTRATO UN CASO LIMITE (SEMAFORO GIALLO LAMPEGGIANTE): LA RISULTANTE COINCIDE CON IL TERZO MEDIO, SUL TERRENO ARRIVA UNO SFORZO DI COMPRESSIONE E LA σ_{min} È UGUALE A ZERO.

IL TERZO SCHEMA (SEMAFORO ROSSO) È DA ESCLUDERE IN FASE DI PROGETTAZIONE, PERCHÉ NON SI POSSONO ACCETTARE SFORZI DI TRAZIONE TRA LA FONDAZIONE E IL TERRENO, NON POTENDO QUEST'ULTIMO SVILUPPARE UNA RESISTENZA A TALE SOLLECITAZIONE.

LA ROBUSTEZZA DEGLI ELEMENTI ... NESSUNO ESCLUSO!



$$I = \frac{a b^3}{12}$$



L'ULTIMO DEI TRE PROBLEMI DA PORSI IN CASO DI STRUTTURE CON GRANDI AGGETTI È LA ROBUSTEZZA DEGLI ELEMENTI VERTICALI, CHE DEVONO TRASFERIRE LE SOLLECITAZIONI AL TERRENO.

IL PROBLEMA LOCALE DELLA FLESSIONE DI UN ELEMENTO ORIZZONTALE PRECEDENTEMENTE ANALIZZATO SI TRASFERISCE ORA AD UNO O PIÙ ELEMENTI VERTICALI CHE DOVRANNO AVERE UN MOMENTO DI INERZIA IN PIANTA PER SOPPORTARE TALE FLESSIONE, QUINDI UN MOMENTO D'INERZIA RISPETTO ALL'ASSE DELLA SOLLECITAZIONE COME MOSTRATO NELLO SCHEMA.

ATTRAVERSO L'OSSERVAZIONE DI UNA STRUTTURA NATURALE COME QUELLA DELL'ALBERO SI PUÒ NOTARE COME LA ROBUSTEZZA DEL TRONCO SIA NECESSARIA A SOPPORTARE I CARICHI, A VOLTE SBILANCIATI, DELLA CHIOMA.