

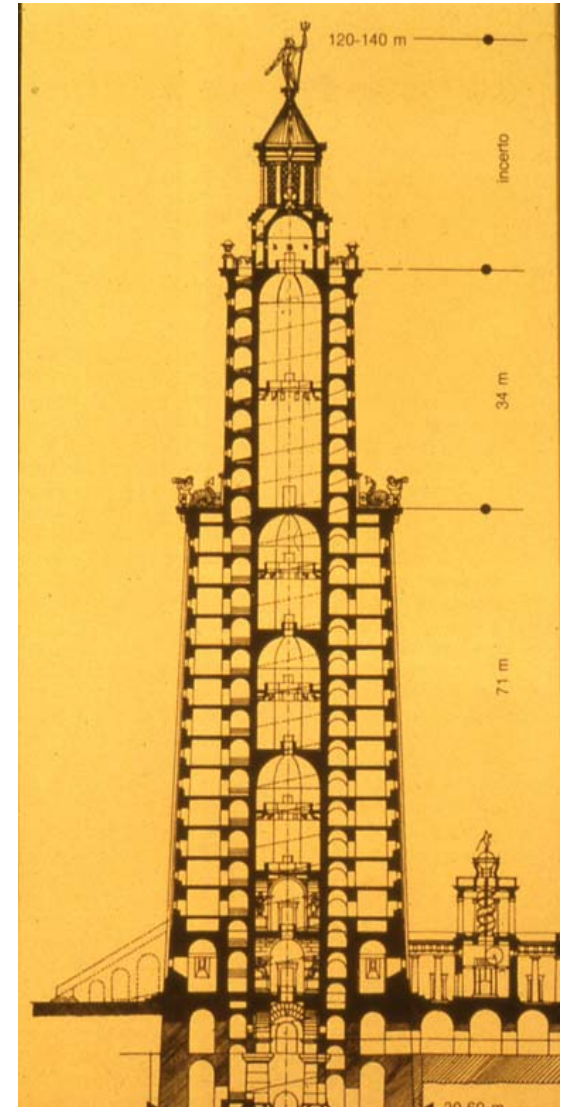


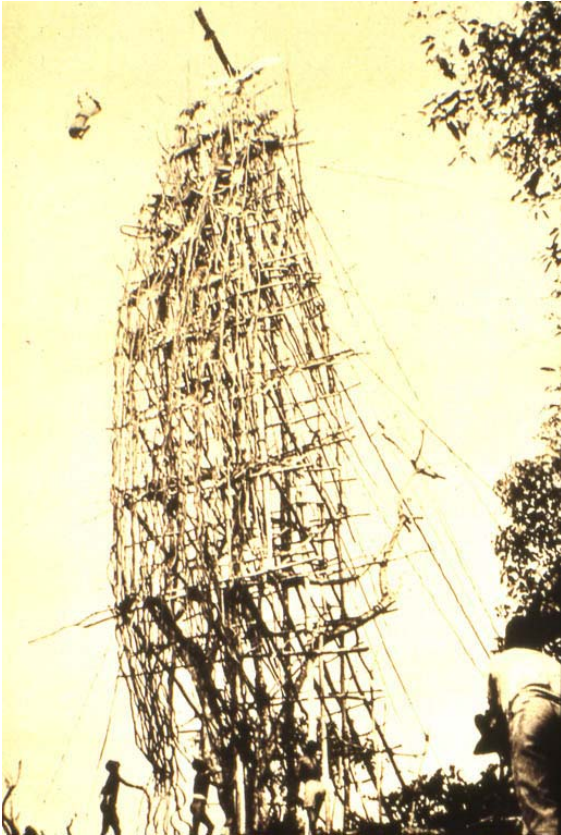
Il concetto di sicurezza delle Costruzioni nel corso dei secoli

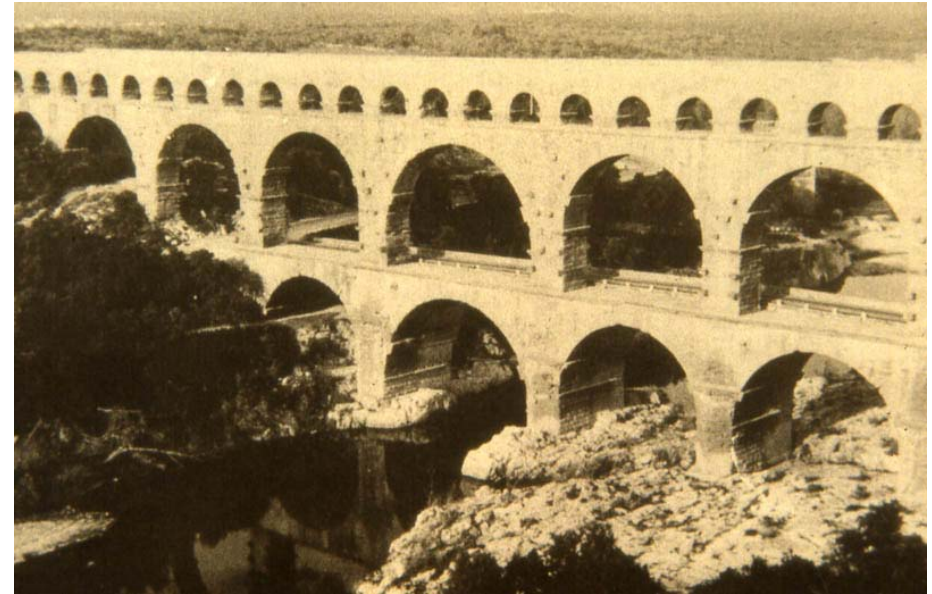
Prof. Ing. Giulio Ballio





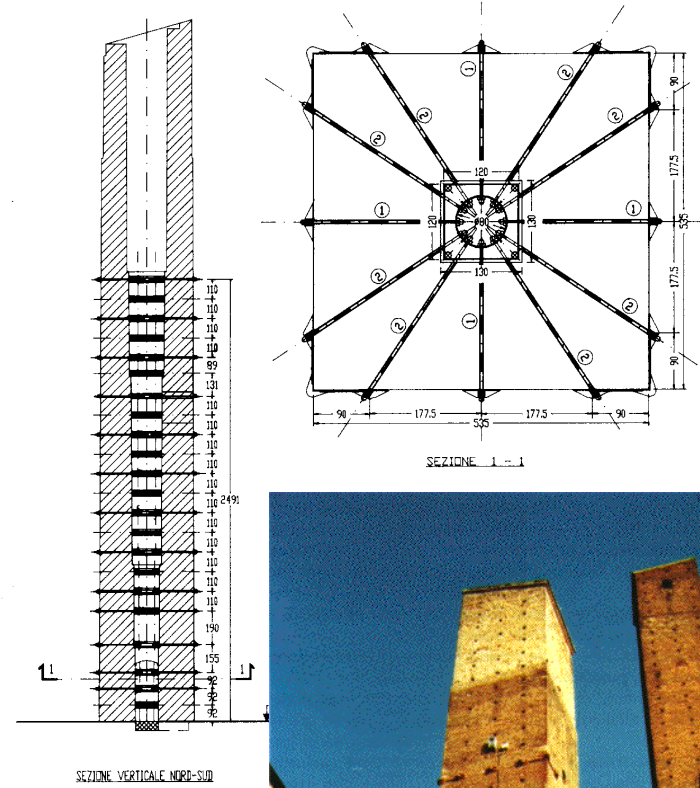


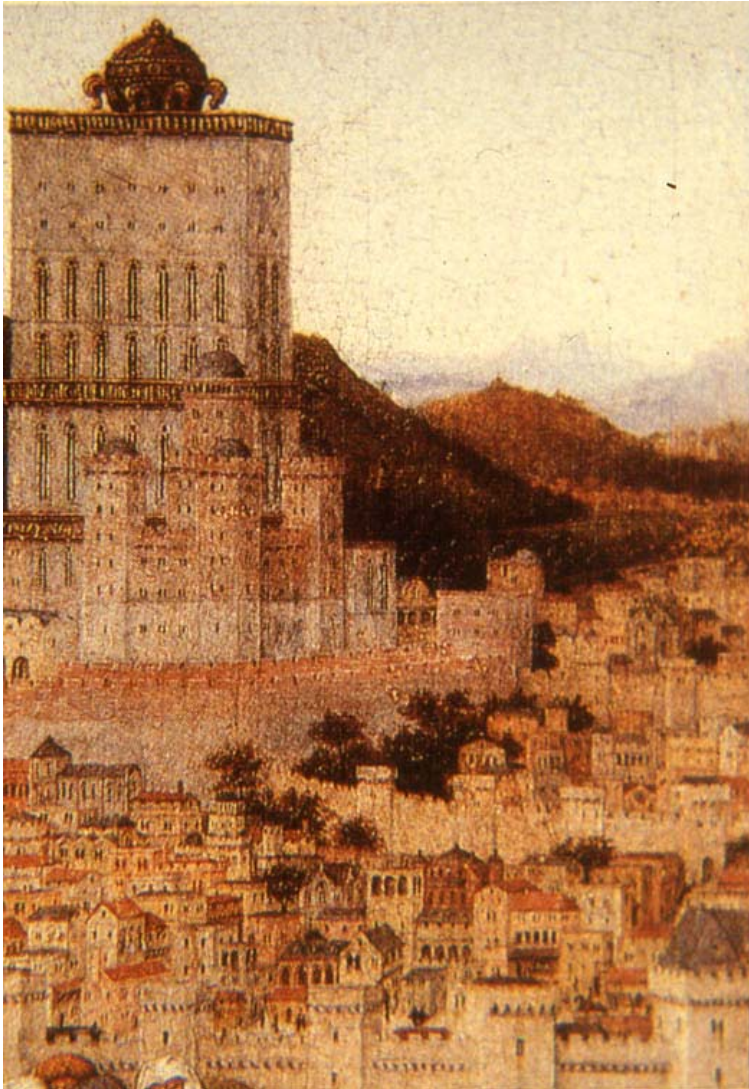












Che regole seguiva l'uomo per costruire?

Costruire equivale a combattere i nemici che la natura oppone:
la gravità, il vento, la neve, le inondazioni, i terremoti, il freddo, il caldo.

Costruire significa progettare e realizzare un **prototipo**.
Non vi sono quasi mai due costruzioni identiche.

La sfida del **costruire** consiste nel realizzare un
prototipo perfettamente funzionante.

Per vincere la sfida, per migliaia di anni, l'uomo – costruttore ebbe una ben precisa filosofia:

Osservare la natura

per intuire il funzionamento delle costruzioni

Imitare le costruzioni esistenti

per rendere le nuove più efficienti e più grandi

Codice di Hammurabi



Se la costruzione crolla e **causa la morte del padrone,**

il costruttore verrà ucciso;

se causa la morte del figlio del padrone,

il figlio del costruttore verrà ucciso;

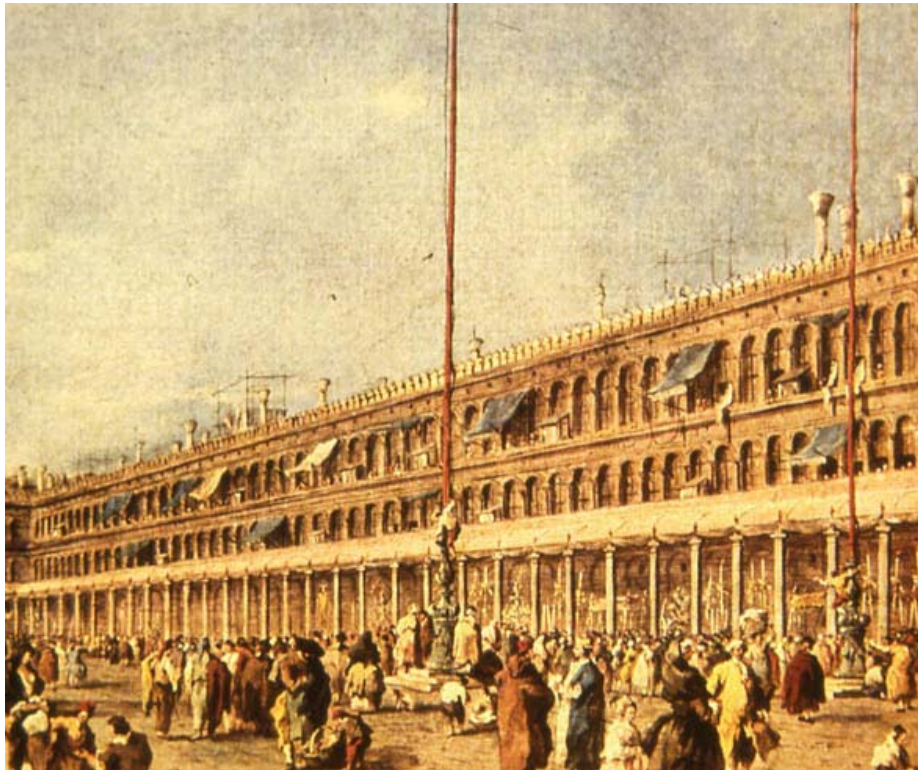
se causa la morte di uno schiavo del padrone,

il costruttore darà uno schiavo al padrone;

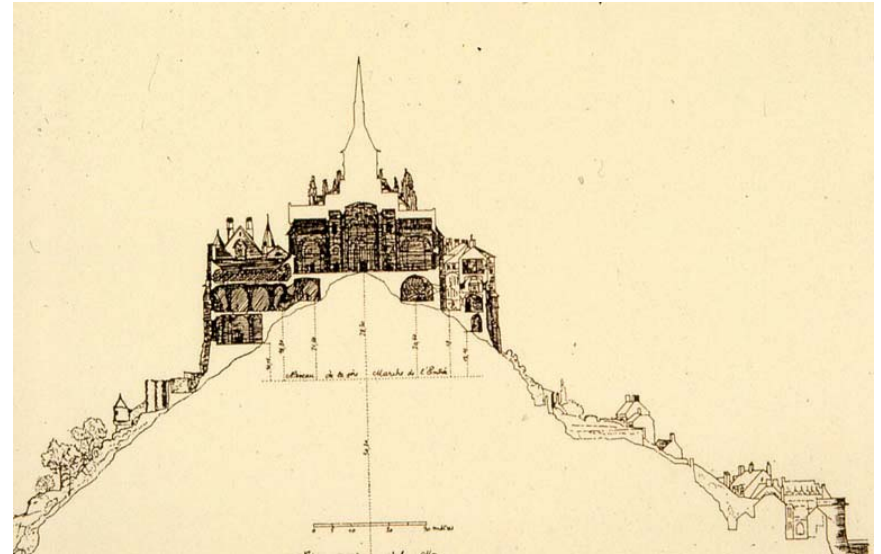
Se la costruzione ha qualche inconveniente durante il suo uso,

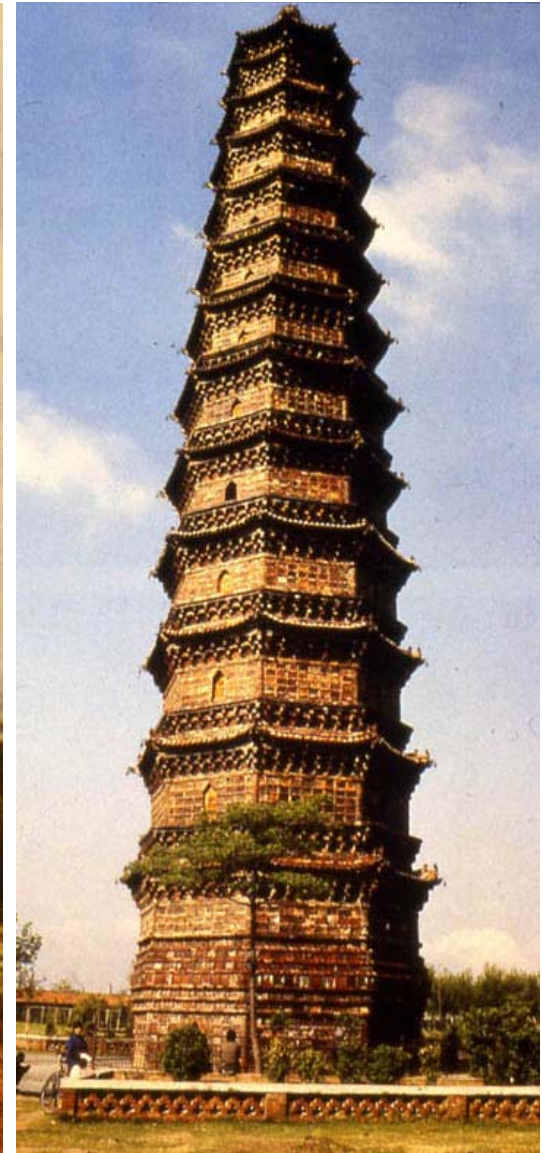
sarà ricostruita a spese del costruttore

***la riuscita della costruzione darà gloria e denaro,
il fallimento dell'opera darà disonore e povertà.***



Dio non deve essere imbrogliato.





Codice di NAPOLEONE 1804 D.C.

Se una costruzione soffre danni parziali o totali e quindi perde, completamente o in parte, la sua utilizzabilita',

se cio' e' causato per colpa delle fondazioni o di scarsa qualita' della manodopera:

**il costruttore o l'architetto andranno in prigione
se i danni si verificano
nei primi dieci anni dalla fine della costruzione**

INTUIZIONE

Disposizione naturale che permette di cogliere prontamente la soluzione di un problema

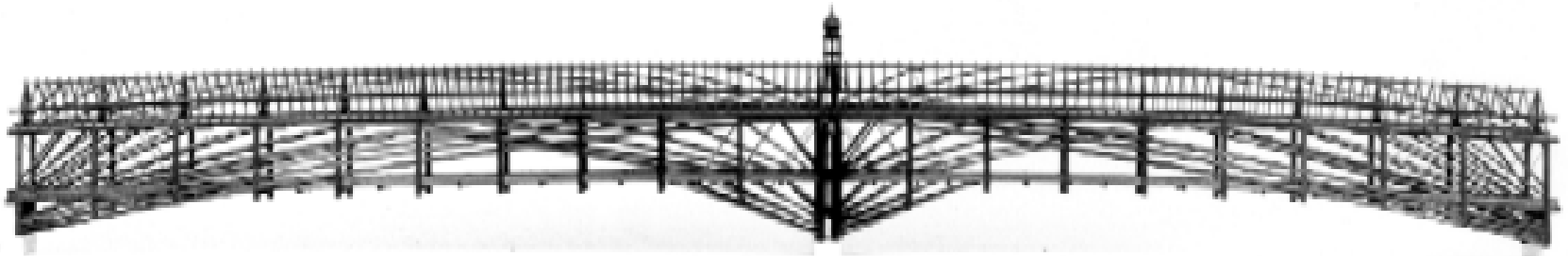
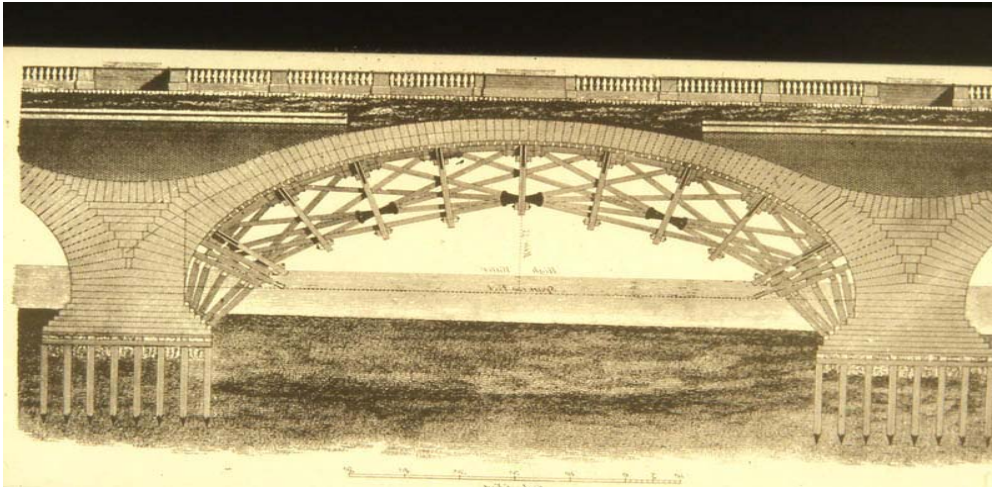
**Dote intellettuale elitaria riservata a pochi
Artisti del Costruire**

RAGIONAMENTO

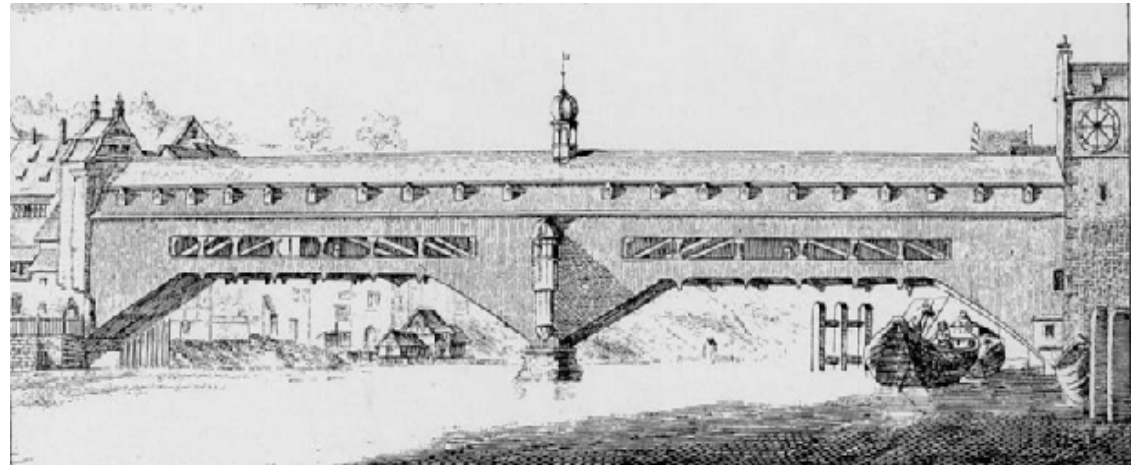
Metodologia razionale che permette di giungere da una premessa a una conclusione

**Atteggiamento culturale a disposizione di tutti
e più facilmente divulgabile**

Esprit de geometrie



Esprit de finesse



Una costruzione è sicura se
gli effetti S delle **azioni** F sono minori
della resistenza R della costruzione,
funzione del **limite elastico** f del materiale

$$S(F) < R(f)$$

MA

- La intensità delle azioni F può essere maggiore di quanto previsto
- Il valore della resistenza dei materiali f può essere minore di quanto previsto
- I modelli di calcolo utilizzati per calcolare S e R sono comunque approssimati

Bisogna introdurre un
coefficiente di sicurezza ν
tanto più grande quanto maggiore è
la nostra ignoranza:

$$S(F) < R(f) / \nu$$

Se si adotta il metodo delle tensioni ammissibili per verificare la sicurezza:

- è difficile identificare lo scopo della verifica strutturale,
- non è sempre possibile garantire la sicurezza voluta,
- il grado di sicurezza a collasso non risulta uniforme.

La verifica alle tensioni ammissibili *non distingue tra incolumità delle persone e qualità di utilizzo*

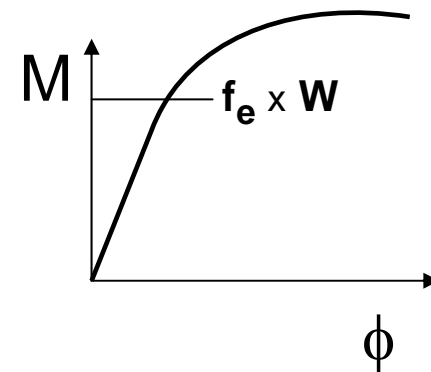
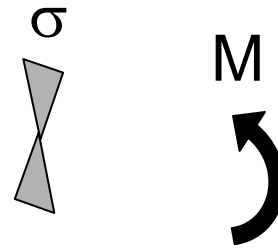
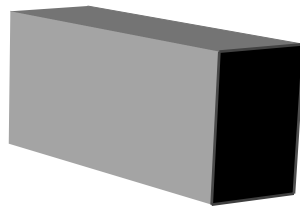
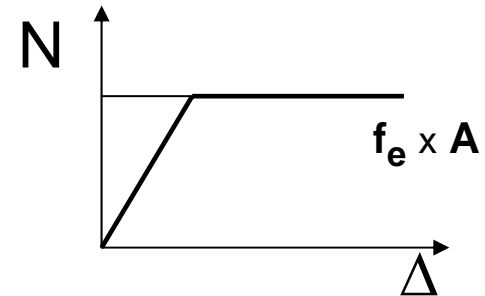
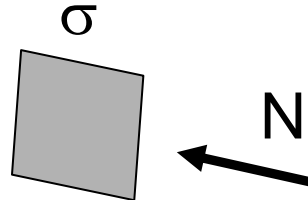
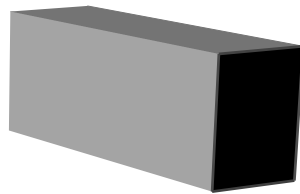
Hammurabi chiedeva:

- l'uccisione del costruttore se la costruzione crolla;
- il rifacimento a spese del costruttore se la costruzione manifesta inconvenienti

La verifica di un grattacielo nei confronti del crollo per effetto del vento, richiede un valore dell'azione eolica corrispondente a un evento raro. La verifica nei confronti di vibrazioni che possono rendere disagiati gli ultimi piani, richiede un valore dell'azione eolica correlato a un evento frequente.

La cabina di una funivia deve garantire la incolumità dei passeggeri, ma la operatività dell'impianto può essere tolta in condizioni di venti ricorrenti un certo numero di volte all'anno. Si disattende alle attese dei fruitori della funivia, ma non si mette a repentaglio la loro incolumità.

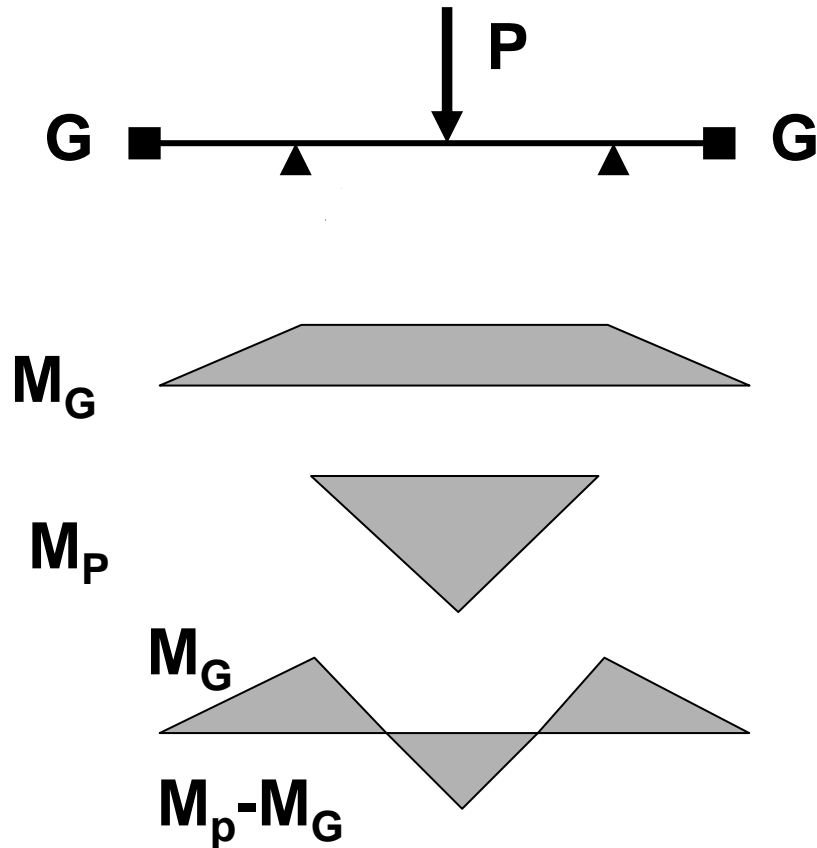
Con la verifica alle tensioni ammissibili
il grado di sicurezza a collasso dipende dal tipo di sollecitazione



$$N_u = N_e$$

$$M_u = \psi \times M_e$$

non si raggiunge il grado di sicurezza voluto se azioni indipendenti hanno effetti di segno contrario.



$$M_G = 0,5 M_P$$

Si desidera un coefficiente di sicurezza $\nu = 1,5$. (+50%)

La verifica è soddisfatta se:

$$M_P - M_G = 0,5M_P < f_e W/1,5$$

poiché l'effetto del contrappeso non può aumentare, per un incremento del carico variabile del 25% si raggiunge la tensione limite:

$$1,25M_P - M_G = 0,75M_P = f_e W$$

La visione probabilistica della sicurezza

Una costruzione è sicura se

la probabilità che gli effetti delle azioni $S(F)$ siano maggiori della resistenza $R(f)$ della costruzione è minore di un valore p_u assegnato e sufficientemente piccolo

$$p\{(S(F) > R(f))\} < p_u$$

Ciò equivale a dire che

la costruzione sicura non esiste

ogni costruzione ha un'alea di rischio analogamente agli altri atti della nostra vita

- il valore delle azioni variabili quali neve, vento, sisma, temperatura, in funzione del loro periodo di ritorno;
- la definizione della durata della vita attesa della costruzione;
- il valore p_u della probabilità di riferimento;
- lo scopo della verifica, cioè lo stato limite il cui raggiungimento, si desidera evitare.

Il valore delle azioni variabili (neve, vento, sisma, temperatura,..)

Le azioni ingenerate da eventi naturali non possono essere controllate dalla volontà dell'uomo

I valori delle azioni provocate da tali eventi devono essere stabiliti mediante un'analisi statistica nel tempo.

Il loro valore può essere correlato al periodo di ritorno, cioè all'intervallo medio temporale per il quale la grandezza assume tale valore.

La durata della vita attesa

Qualsiasi considerazione probabilistica è basata sulla durata della vita attesa della costruzione. A tale valore infatti devono essere correlati i valori delle azioni causate da eventi naturali quali il vento, la neve, il sisma.

La durata della vita attesa di una normale costruzione è stata fin ora convenzionalmente considerata pari a 50 anni. Fino ad oggi tale assunto è risultato ragionevole se si tiene conto degli eventi bellici che si sono succeduti e soprattutto dei cicli economici

Gli ultimi 100 anni sono stati infatti caratterizzati da una espansione delle esigenze industriali e del tessuto urbano che hanno provocato continue demolizioni e ricostruzioni degli edifici civili ed industriali per adeguarli alle sempre nuove esigenze.

Oggi stiamo sperimentando un periodo di stagnazione demografica ed economica: si adegua e si riconverte più di quanto si rinnova e si ricostruisce.

Di conseguenza stiamo assistendo ad un prolungamento della vita delle costruzioni che può talvolta provocare rapidi deterioramenti e causare danni economici anche consistenti.

Il valore della probabilità di riferimento

$$p\{(S(F) > R(f))\} < p_u$$

In linea di principio il valore p_u della probabilità corrispondente al superamento di uno stato limite della costruzione deve essere tanto più piccolo quanto più gravi sono le conseguenze che tale superamento comporta.

Di conseguenza il valore p_u dovrebbe essere prefissato in funzione della pericolosità dello stato limite considerato e della destinazione della costruzione.

il valore della probabilità di riferimento

Usare un approccio di tipo assicurativo?

La scelta del valore p_u della probabilità di riferimento andrebbe fatta paragonando l'incremento dei costi di costruzione necessario a rendere più sicura la costruzione stessa con il costo della perdita di funzionalità o il collasso della costruzione.

L'approccio necessita come dato iniziale, che la collettività sociale quantizzi a priori il valore monetario della vita umana della singola persona.

Ciò è eticamente inaccettabile

il valore della probabilità di riferimento

Valutare il costo di una vita salvata?

Si considerino gli investimenti necessari alla comunità sociale per aumentare il grado di protezione nei riguardi dei diversi accidenti possibili che possono colpire l'individuo e quindi il conseguente costo di ogni vita salvata.

Il valore p_u della probabilità di riferimento potrebbe essere scelto in modo da garantire lo stesso grado di protezione alla comunità sociale nei riguardi dei diversi tipi di accidenti.

Il valore della probabilità di riferimento dovrebbe essere scelto in modo che il costo di una vita salvata da un crollo di una costruzione sia eguale al costo per salvare una vita in altri eventi.

Un approccio siffatto è eticamente accettabile, ma appare, almeno allo stato attuale, irrealizzabile.

il valore della probabilità di riferimento

L'approccio pragmatico

Il valore p_u della probabilità di riferimento può essere stabilito in base alla passata esperienza e al buon senso ingegneristico, stimando la probabilità di collasso di costruzioni esistenti considerate affidabili.

Un notevole sforzo è stato fatto in questa direzione nel recente passato e le più moderne normative sono ispirate ai risultati di tale calibrazione.

Lo scopo della verifica: Gli Stati Limite

Negli anni '50, nel tentativo di ordinare e classificare i vari stati limite di una costruzione vennero definite due categorie di Stati Limite:

Stati Limite Ultimi (ULS) associati alla massima capacità portante della costruzione o di uno dei suoi componenti;

Stati Limite di Servizio (SLS) associati ai criteri che governano la utilizzazione e la funzionalità della costruzione

Stati Limite e periodo di ritorno delle azioni variabili

Viene spontaneo associare agli **Stati Limite Ultimi** (correlabili alla perdita di vite umane) valori modesti della probabilità di occorrenza delle azioni variabili e pertanto periodi di ritorno dell'ordine di 10 - 20 volte la durata di vita attesa della costruzione. Si accettano così solo remote possibilità di raggiungimento degli stati limite ultimi che vengono considerati alla stessa stregua degli altri rischi che il nostro modo di vivere comporta.

Viene spontaneo associare agli **Stati Limite di Servizio**, (correlabili alla limitazione dell'utilizzo della costruzione) valori più elevati della probabilità di occorrenza delle azioni variabili e pertanto periodi di ritorno pari ad una frazione della vita attesa della costruzione. Si accetta così la possibilità che gli stati limite di servizio possano venire raggiunti un limitato numero di volte durante la vita della costruzione.

Per le tipologie più comuni delle costruzioni le normative attuali consentono di sostituire alla formulazione rigorosa:

$$p\{S(F) > R(f)\} < p_u$$

Una serie di disequaglianze del tipo:

$$\gamma_G G_k + \gamma_Q (Q_{k,1} + \phi_{12} Q_{k,2} + \phi_{13} Q_{k,3} + \dots) < R (f_k / \gamma_m)$$

dove:

G_k è il valore caratteristico delle azioni permanenti

Q_k sono i valori caratteristici delle azioni variabili

γ_G è il coefficiente delle azioni permanenti

γ_Q è il coefficiente delle azioni variabili

Φ_i sono coefficienti di combinazione

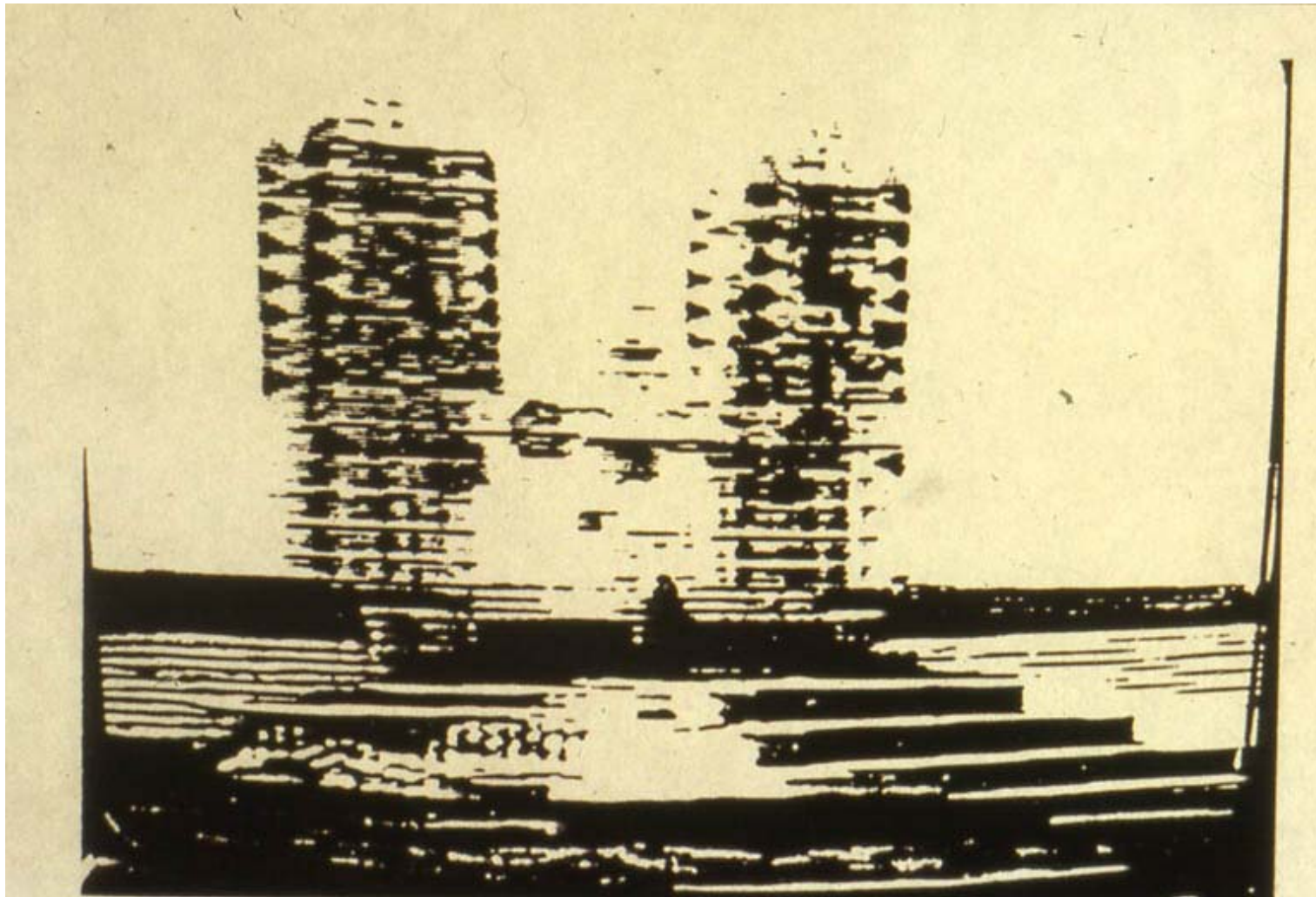
R è il valore della resistenza calcolato in base al valore della resistenza del materiale diviso per un opportuno coefficiente γ_m

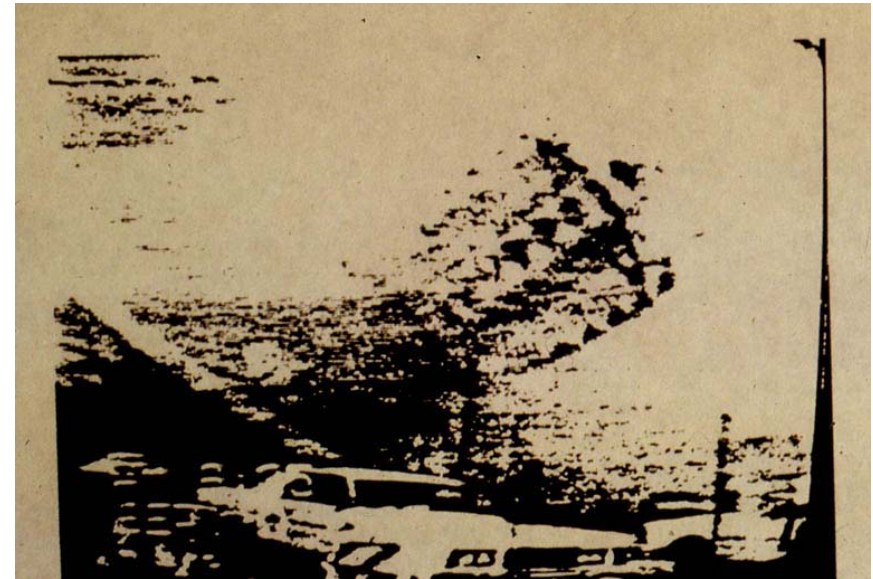
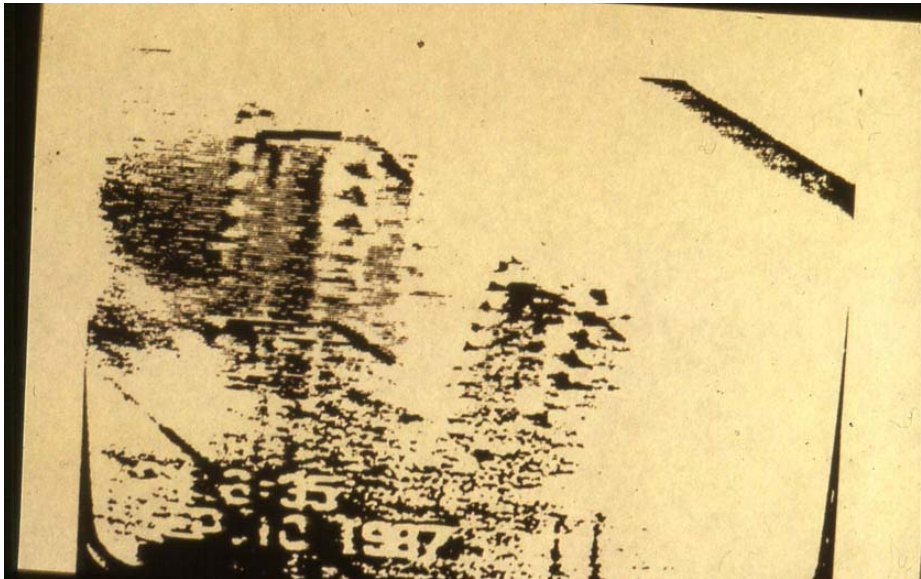
Decisioni e Responsabilità

Per verificare la sicurezza delle Costruzioni si deve fare uno scenario dei rischi individuando i potenziali pericoli.

Ad ogni pericolo (Stato Limite) si deve associare un valore della probabilità di riferimento per definire una ragionevole grado di sicurezza della Costruzione.

La comunità sociale che si esprime con le normative,
i Committenti ed i loro Consulenti,
i Costruttori assistiti dai Tecnici
devono
prendere delle decisioni
assumersi delle responsabilità





La teoria della sicurezza esprime condizioni necessarie, ma non sufficienti per valutare la probabilità di occorrenza di collassi strutturali.

Nella realtà il maggior numero di collassi strutturali e quindi i costi economici e le perdite di vite umane sono conseguenze di **errori di**

progettazione,

realizzazione,

utilizzo della costruzione.

Gli errori umani

Gli errori umani

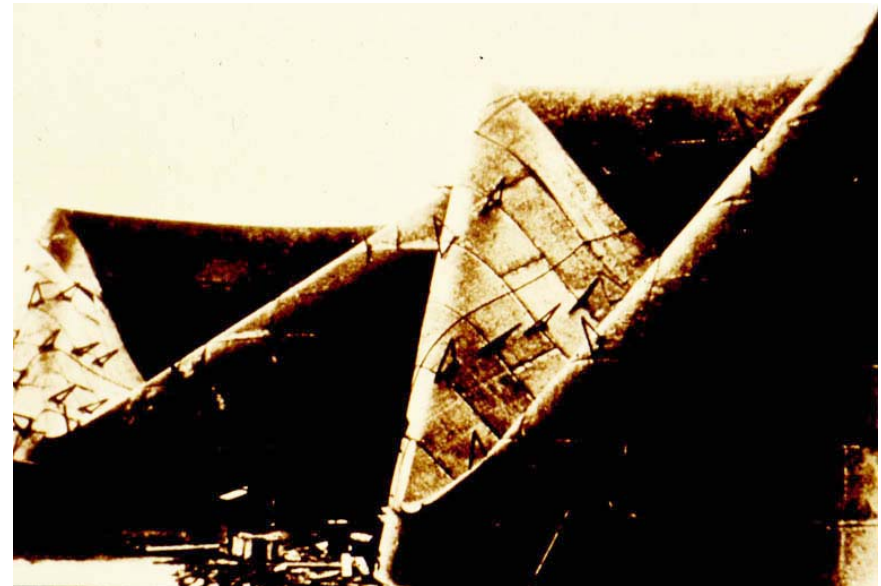
- sono riconducibili alla umana imperfezione;
- sono difficilmente prevedibili
- le loro conseguenze non possono essere considerate nella formulazione delle normative.

Le statistiche attribuiscono l' 80 - 90% degli incidenti ad errori umani.

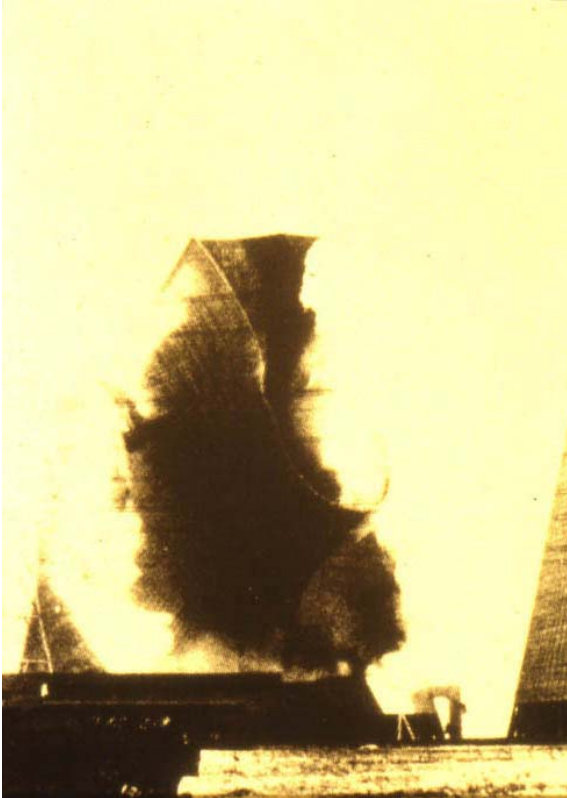
Gli errori umani riportano il problema della sicurezza delle costruzioni al di fuori delle teorie probabilistiche.

Nella letteratura tecnica internazionale gli errori umani (*gross errors*) sono classificati come:

- la **deviazione da prassi comunemente accettate**, ad esempio la non corretta applicazione di una norma o di una buona regola del costruire;
- la **superficialità / insufficienza di conoscenze** nel trattare un problema specifico, ad esempio il tecnico che affronta un tema per il quale non ha una sufficiente esperienza;
- la **mancaza di condivisione delle informazioni** fra gli operatori, ad esempio fra progettisti e operatori in cantiere;
- le **influenze o i condizionamenti da parte di fatti o persone estranee al problema tecnico**, ad esempio il rispetto del budget.



Errore umano o cattività di Eolo?



Forse accadde per la Torre di Pisa

Spesso accade nei nostri cantieri

Per rientrare nel budget ho risparmiato sulle fondazioni

Tanto nessuno se ne accorgerà mai



L'Impresa deve rientrare nel budget.

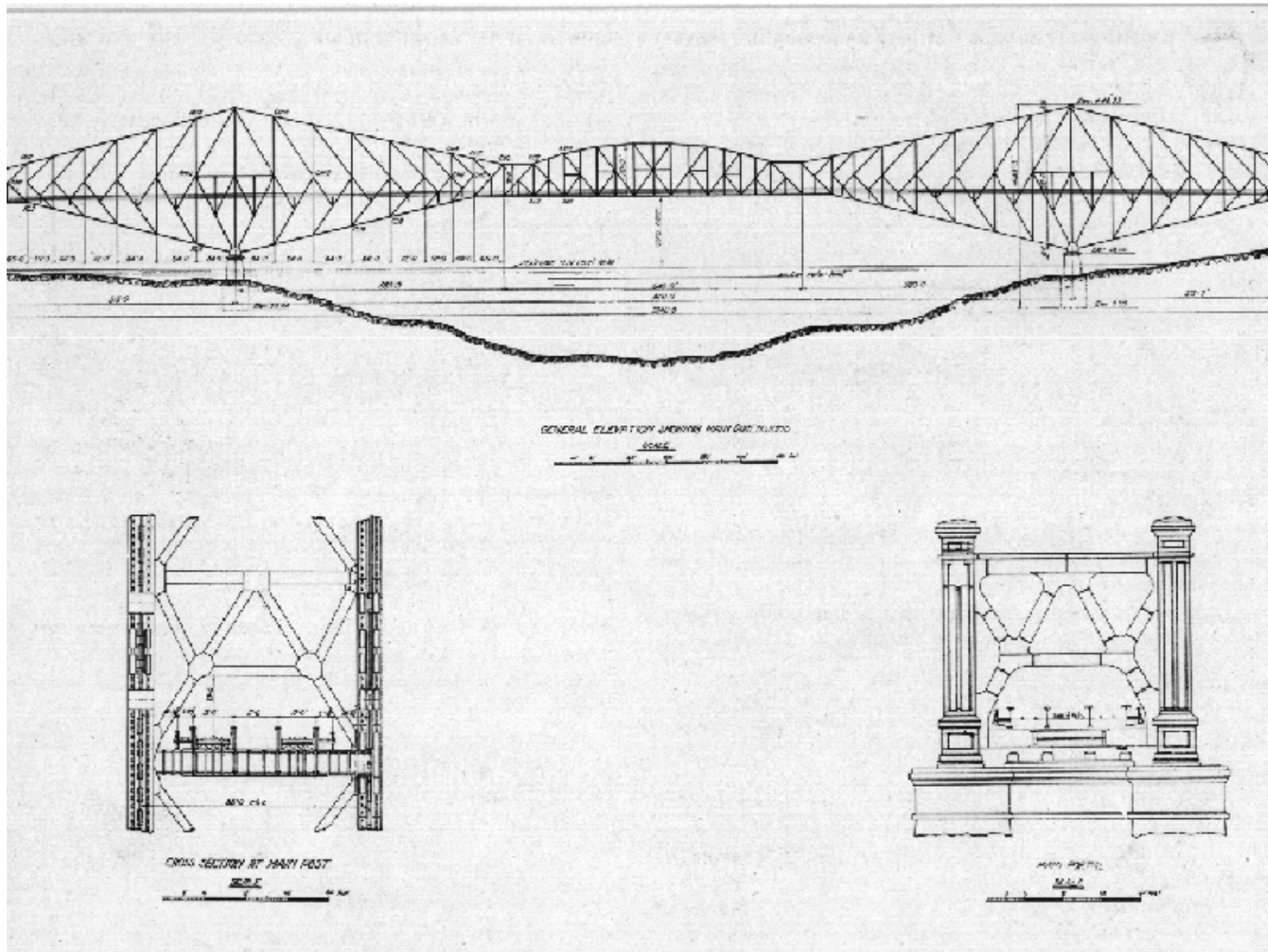
*Si risparmia
in palificazioni,
in cemento, in acciaio,
in opere provvisorie,
in sicurezza dei lavoratori.*

Tanto nessuno se ne accorgerà mai.

Ponte sul Quebec



Il progetto per l'appalto



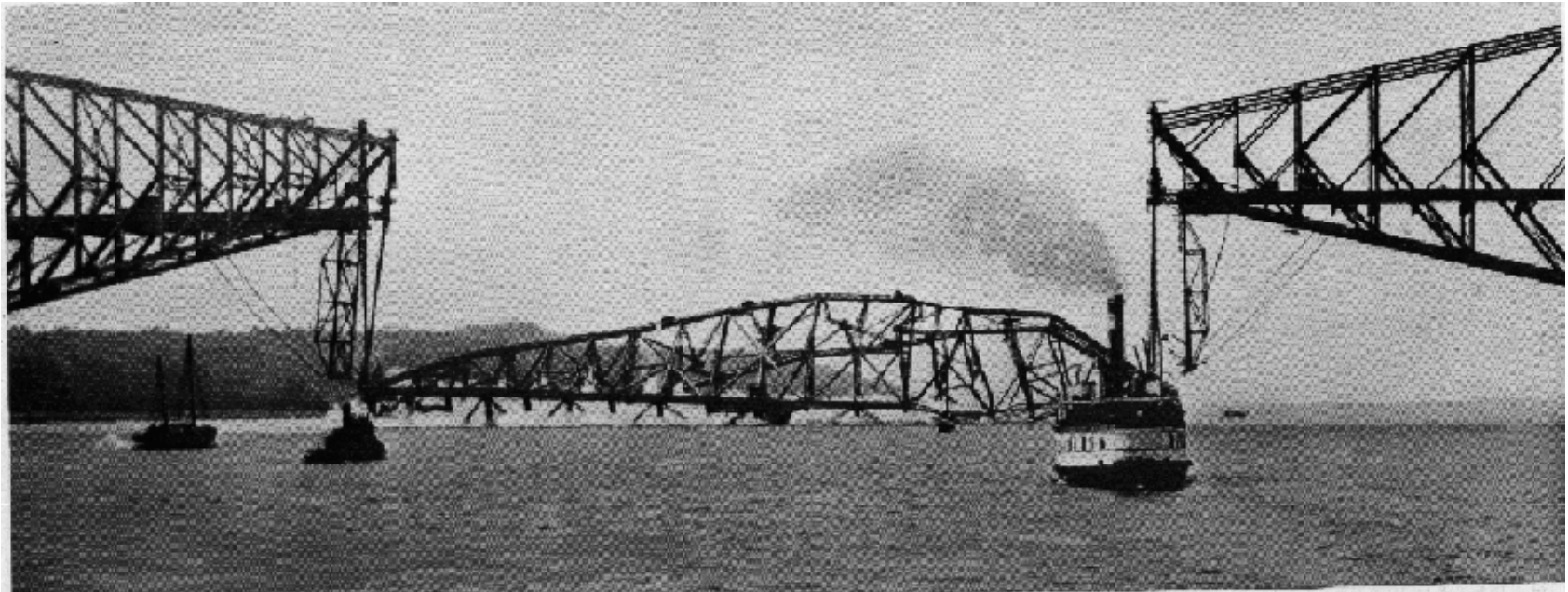
Avanti a sbalzo



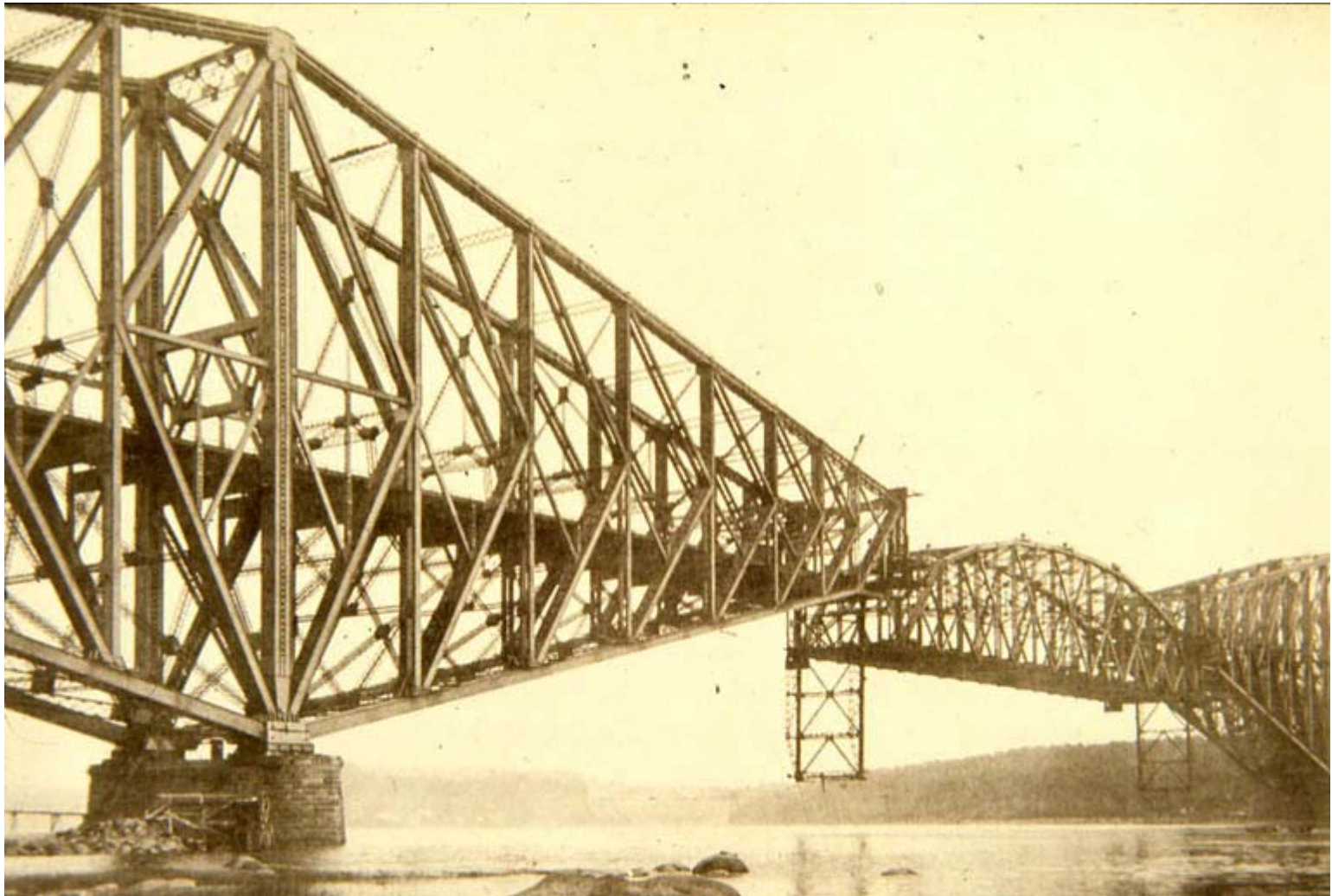
29 agosto 1907

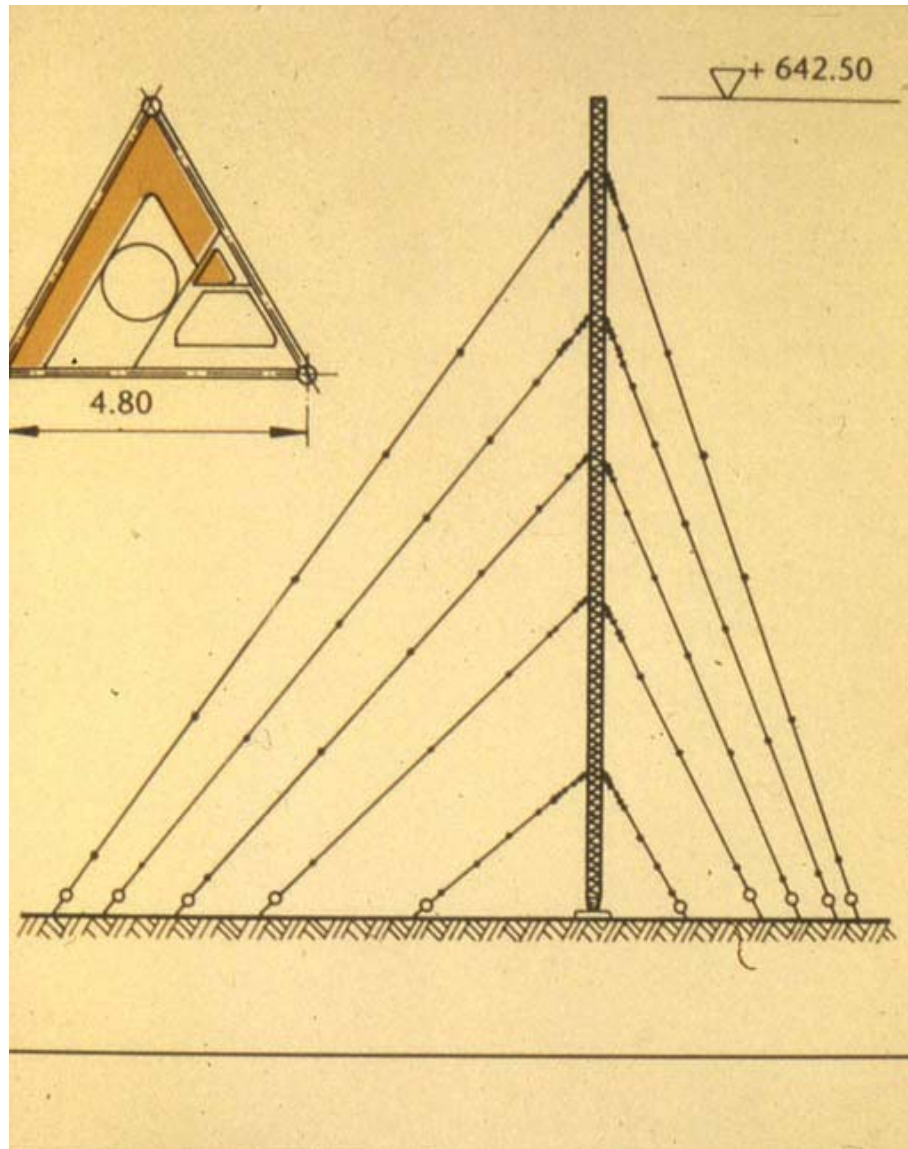


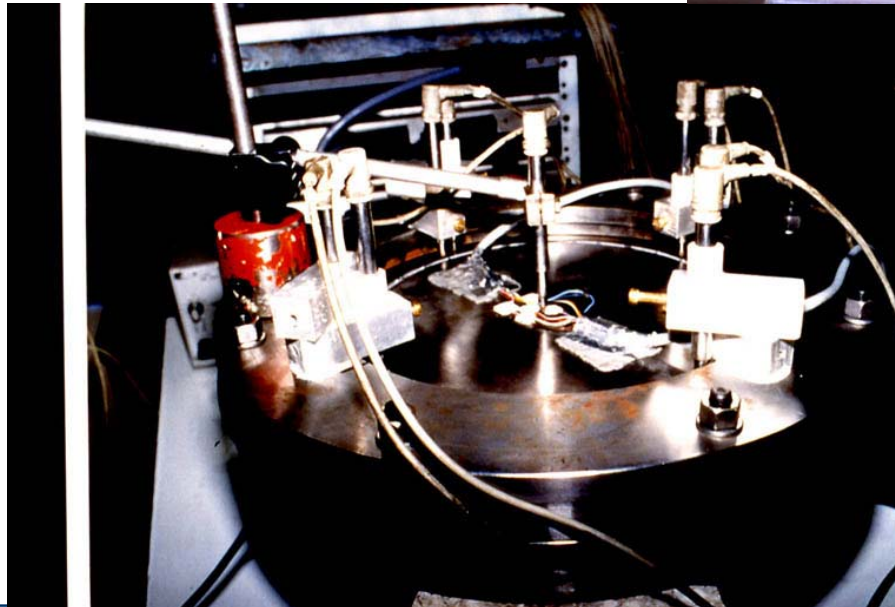
Mai appoggiare 2.500 tonnellate su due navi traballanti...



Finalmente...







prerequisiti della normativa

- **il controllo indipendente delle questioni tecniche e operative,**
- **la chiarezza dei ruoli e delle conseguenti responsabilità,**
- **la condivisione delle conoscenze degli operatori coinvolti nella progettazione, realizzazione e manutenzione.**



Ai tempi di Eiffel le norme non c'erano, ma Eiffel rispondeva ai loro prerequisiti

La Fine della FAVOLA è riassunta dalla seguente affermazione:

La attuale visione della sicurezza delle Costruzioni è basata sui seguenti due punti fondamentali.

la teoria probabilistica:

non si possono escludere inconvenienti, ma si possono rendere estremamente improbabili.

la qualità degli operatori:

ognuno deve operare responsabilmente e deve aiutare il responsabile operare degli altri.

APPLICARE
NORMATIVE e PROCEDURE
NON E' SUFFICIENTE

Soltanto
**conoscenza,
esperienza,
senso di responsabilità,
etica**

permettono
risultati
tecnicamente corretti



