

Il concetto di sicurezza delle Costruzioni nel corso dei secoli

Uscito dalle caverne l'uomo iniziò a costruire.

DIA n. 2

È probabile che da nomade usò le tende.

Una volta divenuto stanziale in riva ai fiumi si cimentò con le palafitte.

DIA n. 3

Nel costruire l'uomo vide la possibilità di difendersi dai suoi simili.

La grande muraglia si estende per più di 6000 Km. I cinesi cominciarono a costruirla nel settimo secolo Avanti Cristo, quando Roma non era ancora nata.

Nel 221 AC l'imperatore Cin unificò la Cina, le diede un sistema di misure, di monete, di strade, costruì la reggia di Xian, unì tutti i pezzi di muraglia esistenti e finalmente costruì il suo mausoleo con i famosi guerrieri.

Nel 1200 D.C. sotto la dinastia Ming la Muraglia raggiunse le dimensioni attuali; il sistema di torri di segnalazione portava il segnale luminoso da un qualsiasi punto dei 6000 Km direttamente alla reggia di Pechino.

DIA n. 4

Nel costruire, l'uomo vide la possibilità di salvarsi.

Una delle sette meraviglie del mondo fu la torre sulla penisola di Pharos davanti ad Alessandria. Il faro fu portato a termine nel 205 A.C., era alto 130 metri e fu la torre più alta del mondo per più di un millennio

DIA n. 5

Nel costruire, l'uomo vide la possibilità di misurare la sua forza.

Nell'Isola di Pentecoste alla morte del Capo la tribù ne deve scegliere un altro. Non vi sono elezioni o patteggiamenti. Sarà Capo chi, si legherà alla caviglia una fune due metri più corta della torre, avrà il coraggio di buttarsi giù, resterà vivo, la sua forza gli permetterà di mantenere la gamba integra.

Nel costruire, l'uomo vide la possibilità di misurare la sua presunzione.

La torre di Babele fu l'ultima delle "zigurrat" , torri a base larga che sorsero in Mesopotamia a partire dal 2000 A.C. Esse erano sempre più alte al fine di portare il tempio che sorgeva in sommità il più vicino possibile al cielo. Costruita nel 500 A.C. sulle rovine delle precedenti era alta circa 65 metri e sopra di essa si ergeva un tempio a due piani alto 15 metri.

DIA n. 6

Nel costruire, l'uomo vide la possibilità di convivere con la morte o di ottenere la vita.

Se Teoderico cercava il riposo eterno sotto una unica pietra, talmente grande da aver bisogno di una torre per sostenerla, Agrippa, col Pont de Gard, portava l'acqua alle popolazioni della Francia meridionale.

DIA n. 7

Nel costruire, l'uomo vide la possibilità di avere rifugi sempre più resistenti.

Il castello medioevale di Fenis in Val d'Aosta e il complesso della città tolteca di TULA fiorita dal X al XII secolo nel Messico centrale sono allo stesso tempo residenza, fortezza, rifugio per la popolazione, magazzini di derrate alimentari e centro di scambi commerciali.

DIA n. 8

Nel costruire, l'uomo vide la possibilità di avere i suoi spazi per abitare e lavorare

La città di Piero della Francesca è rigorosa nei suoi volumi quasi fosse un elaborato di piano regolatore; quella di Benozzo Gozzoli è immersa nel verde. In ambedue spiccano mura, palazzi, torri, chiese e campanili

DIA n. 9

Piero Lorenzetti, nel dipinto del Buon Governo a Siena descrive le attività che nelle città si svolgono e fra queste manifesta attenzione e importanza ai lavori della ingegneria civile.

Egli descrive la tecnica di costruzione di una torre lasciando un documento di una precisione incredibile: osservandolo ho compreso che i fori pontali possono essere tutti diretti verso il centro delle torri.

E' un documento che mi ha suggerito come si possa cerchiare un quadrato senza manomettere una torre e che mi ha permesso di intervenire in soli 90 giorni per mettere in sicurezza la torre Fraccaro a Pavia, dichiarata pericolante

DIA n. 10

Finalmente il fiammingo Van Eyk caratterizza la città con edifici alti quasi fossero dei grattacieli. Ha inventato New York e Chicago.

DIA n. 11

Che regole seguiva l'uomo per costruire tutto ciò?

Costruire equivale a combattere i nemici che la natura oppone: la gravità, il vento, la neve, 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 progettare e 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 precedenti per renderle più efficienti e più grandi

Ma c'erano leggi talvolta severe.

DIA n. 12

Nel 1700 A.C. Hammurabi applicava al costruttore la regola del taglione.

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

Erano tempi in cui il sovrano aveva in scarsa considerazione il genere femminile, ma erano anche tempi in cui anche a un sovrano era chiara la distinzione fra quelli che oggi chiamiamo stati limite ultimi (*se la costruzione crolla*) e stati limite di servizio (*se la costruzione ha qualche inconveniente durante il suo uso*). Non credo che oggi i nostri governanti abbiano chiara una simile differenza

Erano anche tempi in cui i costruttori erano responsabilizzati dal punto di vista tecnico. La responsabilizzazione del costruttore era ottenuta con ferocia, ma il legislatore riteneva sufficiente tale responsabilizzazione per garantire la comunità sociale nei riguardi della sicurezza delle costruzioni

DIA n. 13

Veniamo a tempi più recenti.

La costruzione è ancora al centro dell'interesse dell'uomo e quindi il costruttore è ancora fortemente responsabilizzato. Il costruttore forse non patisce più la regola del taglione, ma deve sfidare la natura mettendo a repentaglio lo status sociale suo e della sua famiglia:

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

I palazzi di Venezia, qui rappresentati dal Guardi, forse hanno permesso ai costruttori di emergere, di fare un salto sociale nella gerarchia delle famiglie veneziane.

DIA n. 14

I costruttori francesi di Mont Saint Michel pensavano che la loro opera avrebbe loro permesso di salvarsi l'anima.

Dio non deve essere imbrogliato.

DIA n.15

Sfortunata fu la cattedrale di Lincoln in Inghilterra costruita nel 1075 dal Vescovo Remigio e crollata dopo 75 anni per un incendio. Riparata fu severamente danneggiata nel 1185 dall'unico terremoto che il Regno Unito ricorda. Subito ricostruita in stile gotico e finita nel 1307, alta più di 160 metri, restò la più alta costruzione del mondo per 241 anni, fino al 1548, quando un fulmine fece crollare la guglia che si ergeva sopra uno dei torrioni.

Da tecnici che certamente temevano le ire dell'imperatore venne costruita nel 1044 la Pagoda di Kaifu. Alta 54.70 metri ha sopportato ad oggi una quarantina di terremoti, una ventina di tifoni e altrettante gravi inondazioni.

Ma la cosa più sorprendente è che il suo rivestimento di maiolica è così ben fatto da aver resistito un migliaio di anni consentendone l'utilizzazione.

Pensiamo alle facciate delle nostre abitazioni e ai costi che la nostra comunità sociale continua a sopportare a causa dei continui rifacimenti.

Veniamo a tempi ancora più recenti. L'uomo sta cambiando.

DIA n. 16

Nel 1800 D.C. Napoleone Bonaparte Imperatore dei Francesi limita notevolmente la responsabilità del costruttore inventando la responsabilità decennale. Prende anche atto che il Costruttore non è più solo. Vi è un Tecnico, l'Architetto, con cui il costruttore divide le responsabilità e se il caso, la prigione.

DIA n. 17

L'uomo sta cambiando mentalità.

Alla *intuizione*, dote intellettuale elitaria riservata a pochi artisti del costruire, si venne a contrapporre, il *ragionamento* basato sulla interpretazione matematica del fenomeno, un atteggiamento culturale a disposizione di tutti e quindi più facilmente divulgabile.

Così, dopo migliaia di anni, l'umanità si è convertita a una nuova filosofia di approccio.

Ma il nuovo approccio è vecchio solo un centinaio di anni, non può quindi essere considerato compiutamente sperimentato nella scala del tempo che contraddistingue la durata di una costruzione.

DIA n. 18

All' *esprit de geometrie* che permise a Sir Thomas Young nel 1817 di dimostrare la correttezza della progettazione del ponte di Waterloo con una delle prime concrete applicazioni ingegneristiche della curva delle pressioni si contrappone *ancora l'esprit de finesse* di Hans Hulrich GRUBENMANN maestro carpentiere svizzero.

Nel 1750 egli non riuscì a convincere il Consiglio Cittadino di Shaffausen a realizzare un ponte in legno di 130 metri di luce. Egli dovette chinare il capo e per non perdere il lavoro accettò di realizzare il ponte con un pilone centrale. Costruì uno strano ponte in cui sistemi di diagonali uscivano a raggiera dal pilone centrale per andare verso le due spalle. Il giorno dell'inaugurazione GRUBENMANN tolse il pilone centrale e dimostrò che un semplice falegname era capace di costruire il più lungo ponte esistente nella seconda metà del diciottesimo secolo.

DIA n. 19

Alla fine del diciannovesimo secolo, la meccanica delle strutture è già considerata un potente mezzo di modellazione. Venne fatta una semplice osservazione.

**Una costruzione è sicura se
gli effetti S delle azioni F che agiscono sulla
costruzione
sono minori della
resistenza R della costruzione,
funzione del limite elastico f dei materiali
che la compongono
dunque:
 $S(F) < R(f)$**

Ma le previsioni possono essere errate:

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

Fu subito evidente che la entità del coefficiente di sicurezza dipende dalle incertezze insite nella valutazione delle azioni e della resistenza, dalle modalità di costruzione, dalla maggiore o minore raffinatezza dei calcoli.

Alcuni ricercatori chiamarono il coefficiente di sicurezza il *coefficiente della nostra ignoranza*.

Questa denominazione è estremamente azzeccata soprattutto se si pensa che le verifiche alle tensioni ammissibili vennero codificate per valutare la possibilità di collasso di una costruzione.

Ancora oggi la nostra cultura è segnata da questo errore concettuale che ha nascosto la vera identità della sicurezza delle costruzioni a molte generazioni di tecnici.

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

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

Vediamo alcuni esempi.

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 un eccesso di accelerazione che può rendere disagiata l'abitabilità degli ultimi piani, richiede un valore dell'azione eolica minore, 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.

DIA n. 22

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

In una sezione tesa di materiale elastico perfettamente plastico la verifica col metodo delle tensioni ammissibili corrisponde al contemporaneo raggiungimento del limite elastico del materiale in tutte le fibre della sezione e pertanto definisce anche il collasso della sezione.

In una sezione inflessa la verifica col metodo delle tensioni ammissibili corrisponde al raggiungimento del limite elastico nella fibra più distante dall'asse neutro e pertanto non definisce il collasso della sezione che avviene in corrispondenza di un valore maggiore del momento flettente.

DIA n. 23

Con la verifica alle tensioni ammissibili non si raggiunge il grado di sicurezza voluto se azioni indipendenti hanno effetti di segno contrario.

Si consideri l'esempio banale di una trave su due appoggi e con due contrappesi, destinata a sopportare un carico variabile in mezzzeria.

Si ipotizzi un coefficiente di sicurezza pari a 1.5 e un momento dovuto al contrappeso pari alla metà del momento flettente dovuto al carico variabile in assenza del contrappeso.

Poiché l'effetto del contrappeso non può aumentare, è immediato constatare che è sufficiente un incremento del carico pari soltanto al 25% per raggiungere una condizione di insicurezza.

DIA n.24

Verso gli anni 1940, dopo cinquanta anni di predominio delle teorie deterministiche, si cominciò a comprendere che solo un approccio probabilistico poteva inquadrare in modo soddisfacente il problema della sicurezza strutturale.

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

Con questa affermazione viene negata la esistenza della struttura “sicura”.
Ogni costruzione ha una alea di rischio, analogamente agli altri atti della nostra vita.

Per decidere se una costruzione è sicura, sia le azioni che le resistenze devono essere considerate variabili aleatorie.

DIA n. 25

L'approccio probabilistico richiede:

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

DIA n. 26

Le azioni ingenerate da eventi naturali non possono essere controllati dalla volontà dell'uomo. E' possibile introdurre un limitatore di carico in un apparecchio di sollevamento. Non è evidentemente possibile limitare eventi naturali quali la neve, il vento o il terremoto.

I valori delle azioni indotte 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.

DIA n. 27

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.

Una struttura di servizio, quale un pontile utilizzato per la costruzione di una diga, richiede, almeno in linea di principio, un diverso criterio di progetto da un ospedale o una scuola.

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.

DIA n. 28

In linea di principio il valore 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 del tipo di stato limite e della destinazione della costruzione.

Non è facile stabilire una procedura per identificare un tale valore.

DIA n. 29

È inaccettabile determinare tale valore mediante un'analisi costi - benefici. Secondo tale approccio la scelta del valore della probabilità di riferimento andrebbe fatta paragonando l'incremento dei costi di costruzione necessario a rendere più sicura la costruzione e le perdite economiche conseguenti il collasso.

Poiché il collasso della costruzione può comportare la perdita di vite umane, l'approccio necessita, come dato iniziale del problema, che la collettività sociale quantizzi a priori il valore monetario della vita umana; *il che è eticamente inaccettabile.*

DIA n. 30

Una procedura eticamente accettabile può essere trovata qualora si considerino gli investimenti necessari alla comunità sociale per salvare le vite umane.

Il valore della probabilità di riferimento può essere scelto ottimizzando le risorse economiche e garantendo una uniformità di protezione nei riguardi dei diversi tipi di incidenti. In altre parole le conseguenze di un crollo di una costruzione dovrebbero essere paragonate con quelle di incidenti stradali, di disastro ecologico, di non adeguata assistenza sanitaria. 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 dagli altri incidenti.

È evidente che un approccio siffatto appare politicamente irrealizzabile.

DIA n. 31

Infine il valore 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.

DIA n. 32

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

DIA n. 33

Nell'ambito di una classificazione siffatta è possibile associare alle due diverse categorie di Stati Limite ordini di grandezza diversi per la probabilità di riferimento e per il periodo di ritorno che caratterizza il valore delle azioni da assumersi nei calcoli.

Viene spontaneo associare agli *Stati Limite Ultimi*, associabili alla perdita di vite umane valori modesti della probabilità di occorrenza e pertanto periodi di ritorno per le azioni variabili 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*, associabili a una limitazione dell'utilizzazione della costruzione, valori più elevati di probabilità di occorrenza e pertanto periodi di ritorno per le azioni variabili 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.

DIA n. 34

Per le tipologie più comuni delle costruzioni le attuali normative consentono di sostituire alla verifica rigorosa basata sul calcolo delle probabilità un formato di verifica approssimato basato su opportune combinazioni di progetto che tengano conto della riduzione di probabilità che compete al fatto che più azioni indipendenti risultino contemporanee.

Affinché il risultato di tale verifica equivalga a quello rigorosamente fornito dalla formulazione probabilistica i coefficienti γ_F e γ_M e i coefficienti di combinazione ψ_{oi} devono essere opportunamente scelti. È doveroso notare che, purtroppo, stabilito un valore della probabilità di riferimento, tali coefficienti sono tutt'altro che costanti. Dipendono infatti fra l'altro, dalla tipologia strutturale, dalla combinazione che si considera e dalla influenza quantitativa di ogni carico sullo stato limite di cui si sta operando il controllo di affidabilità.

Pertanto tale formato di verifica non può essere considerato rigoroso, di qui il nome semi - probabilistico, quasi per indicare che, allo stato attuale delle conoscenze, esso costituisce un metodo direttamente applicabile in pratica, suscettibile di una standardizzazione normativa, ma incapace di garantire una sicurezza rigorosamente uniforme.

Esso deve essere riguardato come un metodo più razionale, efficiente e corretto del metodo delle tensioni ammissibili: è in grado di poter essere applicato anche al calcolo non lineare, può ponderare il coefficiente di sicurezza superando gli inconvenienti del metodo delle tensioni ammissibili. Per contro richiede, almeno in linea di principio, un maggior numero di condizioni di verifica e di combinazioni di carico e pertanto aumenta l'onere computazionale del progettista.

DIA n. 35

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

Ad ogni pericolo si deve associare un valore della probabilità di riferimento per definire un 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 debbono prendere delle decisioni e assumersi delle responsabilità.

Ovviamente le decisioni devono essere corrette dal punto di vista tecnico.

DIA n. 36

Siamo a Sant'Antonio, Texas; località Westover Hills. Il 12 Settembre 1987 verrà il Papa a celebrare la Messa. Sono previsti mezzo milione di fedeli.

Per rendere visibile la celebrazione si costruiscono 2 torri gemelle, alte circa 42 metri collegate da un palco. La costruzione utilizza un normale sistema tubolare con aste e giunti da ponteggio e viene ricoperta, per il 75% con tappezzeria decorata.

Il progetto prevede una vita della struttura molto breve: una messa, anche cantata è sempre una messa.

Per economizzare non si assume nei calcoli il vento prescritto dall'Uniform Building Code di circa 90 Km/ora. Ci si aspetta un vento di tale entità ogni 50 anni.

Si assume un vento pari alla metà dimenticandosi che la pressione va col quadrato della velocità e che quindi, in termine di pressione, la scelta equivale a considerare sulla costruzione un quarto degli effetti eolici che poi sono la unica azione orizzontale introdotta nei calcoli.

DIA n. 37

Così il 10 Settembre, due giorni prima della cerimonia, l'aeroporto di Sant'Anton registra un vento di 60 Km/ora, vento che in quella stagione ha una ricorrenza frequente.

Un cineamatore riuscì a filmare la scena. Non so se Giovanni Paolo II ringraziò il suo Angelo Custode per averlo protetto dagli Ingegneri.

DIA n. 38

Questo esempio ci fa capire che:

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

Nella realtà il maggior numero di collapsi strutturali e quindi di costi sia economici sia di vite umane sono conseguenze di errori di progettazione, realizzazione ed utilizzazione della costruzione.

DIA n. 39

Gli errori umani sono riconducibili alla umana imperfezione e non possono essere presi in considerazione da qualsiasi teoria o normativa.

La rielaborazione delle statistiche attribuiscono l' 80 - 90% degli incidenti ad errori umani.

In sintesi gli errori umani riportano il problema della sicurezza strutturale al di fuori delle teorie probabilistiche, almeno così come oggi formulate.

Ad oggi si ha una sola certezza: gli errori umani hanno una frequenza maggiore il Venerdì e il Lunedì.

Credo sia del tutto spiegabile tale loro proprietà.

Gli errori umani possono avere conseguenze importanti o trascurabili, a favore o a sfavore di sicurezza; più errori umani possono annullarsi o esaltarsi reciprocamente.

DIA n. 40

Nella letteratura tecnica gli errori umani vengono correlati a:

- 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 **mancanza 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.

DIA n. 41

Gli effetti di una pressione non uniforme sui gusci cilindrici sottili quali i serbatoi metallici comportano un classico pericolo legato a un fenomeno di instabilità che viene attivato da azioni orizzontali non uniformi.

Ecco quello che resta di un impianto di stoccaggio dopo il passaggio del Tornado Hugo.

Fu un errore umano o fu un atto di Dio?

DIA n. 42

Ecco quanto accadde a Ferry Bridge. Queste torri di refrigerazione in cemento armato erano in costruzione. Non erano stati realizzati diaframmi provvisori per impedire ovalizzazioni in fase di costruzione.

Forse fu una banale dimenticanza di un tecnico, forse fu il cantiere che per risparmiare tempo o denaro confidava nella compiacenza di Eolo.

DIA n. 43

Forse è successo anche per la Torre di Pisa quello che spesso accade nei nostri cantieri.

L'Impresa deve rientrare nel budget.

Si risparmia in palificazioni, in cemento, in acciaio, in sicurezza dei lavoratori.

Tanto nessuno se ne accorgerà mai.

Purtroppo i condizionamenti che i tecnici subiscono sono spesso di natura economica o politica.

Purtroppo i Tecnici spesso non riescono a resistere a tali pressioni.

Questo è un problema di ordine morale e professionale che è sempre esistito e sempre esisterà in ogni parte del mondo e che nessuna teoria della sicurezza riuscirà mai a considerare.

Il 29 Agosto 1907, 15 minuti prima della chiusura serale del cantiere, crollò in costruzione il Ponte sul fiume Quebec.

Fu uno degli incidenti più drammatici nella storia della costruzione dei ponti, causò la morte di 75 persone.

È interessante ripercorrere le tappe che portarono al crollo perchè nella loro successione si intravede una serie di errori umani a dir poco emblematica.

Vari progetti di massima per la costruzione del ponte furono presentati alla Convenzione dell'American Society of Civil Engineering che si tenne a Quebec nel 1899. Essi furono giudicati insoddisfacenti.

Theodor Cooper era presente alla Convenzione. Egli aveva una brillante carriera di ingegnere progettista di ponti e ferrovie. Aveva iniziato la sua carriera professionale come assistente tecnico nella costruzione del ponte di St. Louis, terminato nel 1875. Nei venti anni successivi Cooper era divenuto uno degli ingegneri più ascoltato e famosi degli Stati Uniti.

Cooper fu così chiamato dal presidente della Società Concessionaria che avrebbe dovuto realizzare il ponte sul Quebec.

La trattativa economica fra Cooper e la Società non fu molto soddisfacente per Cooper perchè la Società non aveva previsto il pagamento del progetto e della Direzione Lavori a un uomo del calibro di Cooper.

D'altra parte la Società voleva il nome di Cooper a garanzia del suo lavoro. Cooper si lasciò convincere a ridurre l'oggetto dell'incarico professionale alla preparazione del progetto di massima e delle specifiche tecniche che avrebbero permesso di avviare una gara di appalto per la progettazione esecutiva e la costruzione del ponte.

Il contratto di Cooper prevedeva anche l'esame delle proposte presentate alla gara di appalto e una generica consulenza tecnica durante la costruzione.

Cooper preparò una specifica tecnica che prevedeva un ponte lungo circa 950 metri con una luce centrale di 550 metri e due laterali di 200 metri.

Oggi diremmo che Cooper preparò per il committente i documenti tecnici per un'APPALTO CONCORSO.

Venne scelta la Impresa col criterio del minimo prezzo.

Prima di iniziare la costruzione vennero misurate più attentamente il tracciato e la lunghezza del ponte fu aumentata di circa duecento metri. Vennero allora cambiate le tipologie di alcuni elementi compressi per restare nel peso di acciaio previsto.

DIA n. 46

La costruzione delle fondazioni e dei piloni cominciò nel 1905. Nel 1906 vennero costruite le campate laterali da cui, a sbalzo, si sarebbe dovuto iniziare il montaggio della campata centrale.

Cooper, visto che gli era stata affidata una generica supervisione dei lavori, inviò in cantiere il giovane ingegnere Mc Lure con il compito di riportargli la situazione e trasmettere eventuali suoi consigli all'Impresa.

L'ingegnere E.A. Hoare fu scelto dall'Impresa quale responsabile dei lavori; oggi si direbbe quale Gestore della Commessa. Egli era noto per integrità e senso del dovere. Ma non aveva sufficienti conoscenze tecniche.

La Commissione di inchiesta indicherà che la sua designazione fu un grave errore da parte della Quebec Bridge Company. Scrisse:

è molto triste dover riconoscere che in molti casi la abilità nella gestione è più valutata della competenza tecnica.

Come si vede non c'è nulla di nuovo sotto il sole.

Durante l'Agosto 1907 la parte a sbalzo andava via via crescendo, ma purtroppo si spostava visibilmente di lato.

Accortosi di questa deviazione il giovane Mc Lure fece un rapporto al Gestore di Commessa e a Cooper, suo principale.

Cooper non si mosse dal suo studio di New York; Hoare non diede peso alla cosa.

Il poveretto cominciò a misurare lo sbandamento laterale. Non avendo alcuna autorità per interrompere il montaggio, cercò di coinvolgere i suoi interlocutori comunicando le sue misure. Ma il montaggio continuava.

Il 27 Agosto, due giorni prima del crollo, Mc Lure scrisse allarmato:

3/4 di pollice la settimana scorsa oggi siamo a due pollici e un quarto. Il montaggio non deve proseguire fino a quando il consulente Cooper e la Impresa non lo autorizzeranno.

La sera del 28 Agosto, il giorno prima del crollo, stufo di non essere ascoltato, Mc Lure prese il treno della notte promettendo al cantiere che avrebbe trascinato di peso Cooper in cantiere.

Purtroppo nella stessa notte il direttore del cantiere e il gestore di commessa decisero di ignorare il consiglio di Mc Lure, e di continuare il montaggio.

Alle 11 di mattina Cooper arrivò in ufficio a New York e trovò Mc Lure ad aspettarlo. All'una e un quarto inviò un telegramma alla sede dell'Impresa:

non aggiungete più carico fino a quando non avrò preso nella giusta considerazione quanto successo.

La Impresa non trasmise questo telegramma al cantiere.

DIA n. 47

La Commissione di inchiesta stabilì fra l'altro i seguenti punti:

- La capacità di Cooper era talmente nota che aveva dato a tutti una falsa sensazione di sicurezza. D'altra parte l'incarico affidatogli e la modestia della retribuzione avevano circoscritto i suoi compiti e le sue responsabilità.

Viene voglia di commentare che, dal punto di vista della sicurezza, un consulente di prestigio mal retribuito è quanto di peggio si possa avere.

- Non soddisfacente era stato il metodo di concorso appalto e la scelta di una Impresa di Costruzione priva di referenze tecniche che aveva il solo merito di aver fatto la offerta più vantaggiosa.

DIA n. 48

L'epilogo fu ancora drammatico. Il gruppo di progettazione che disegnò il nuovo ponte comprese che costruire a sbalzo 375 metri era problematico e quindi decise di innalzare la campata centrale con martinetti poggiati su pontoni. Quando le 2500 tonnellate della campata centrale furono issati di 4 metri il tutto si rovesciò nel fiume facendo ulteriori 13 morti.

DIA n. 49

Finalmente nel 1917 la campata centrale fu sollevata e messa in posizione.

Un commento.

Errori, superficialità, mancanza di competenze, condizionamenti estranei al problema tecnico, la tirannia del rispetto del costo e dei tempi, la modalità di scelta dell'impresa. Ci fu di tutto, esattamente come oggi.

DIA n. 50

Tra gli errori di utilizzazione possono essere annoverati il cattivo uso della costruzione, le modifiche e i difetti di manutenzione

L'antenna strallata di Varsavia crollò durante una operazione di controllo degli stralli. Il martinetto tirò uno strallo fino a far cascare la torre. Non so se il manometro del martinetto era starato o se l'operatore era ubriaco.

DIA n. 51

Un grosso rischio dovuto a un errore di strumentazione è successo anche a me. Mi occupavo di migliorare la sicurezza di una finestra di berillio di 30 cm di diametro che costituisce la parte terminale di un telescopio per raggi X da posizionare su un satellite.

Il progetto della società di ingegneria degli Stati Uniti era stato deficitario e la prova a pressione eseguita presso il costruttore americano aveva causato la rottura del sistema.

La nuova prova di collaudo venne commissionata a un noto Laboratorio privato che aveva preso tutte le precauzioni del caso: in caso di rottura e di ispirazione di polvere di berillio una persona è condannata a morte certa.

Avviata la prova, al 20% del carico operativo le letture sperimentali erano doppie di quelle da me previste col calcolo.

Panico generale e ovvia conclusione: i miei calcoli erano sbagliati.

Per difendermi chiesi se la misura della pressione del carico era giusta.

Commisi un reato di lesa maestà: il laboratorio aveva solo celle di misura super precise; non manometri qualsiasi.

Costrinsi il responsabile ad andare da un gommista: misurammo una pressione doppia di quella letta con la cella super - precisa.

La cella di pressione era mal collegata alla centralina.

Una piccola mancanza di attenzione che avrebbe certamente causato la rottura della finestra di berillio; forse oggi non sarei qui a raccontare quanto accadde.

Per mitigare gli effetti degli errori umani non ha senso aumentare il coefficiente di sicurezza o diminuire il valore della probabilità di riferimento.

DIA n. 52

L'unico strumento che oggi abbiamo a disposizione per ridurre il numero degli errori umani sono i prerequisiti richiesti dalle procedure di Assicurazione della Qualità:

- 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.

Sono richieste che non possono essere esaudite da quella parcellizzazione del sapere che l'eccessiva specializzazione comporta.

Lasciatemi sintetizzare il concetto: è perfettamente inutile produrre carta piena di calcoli e di disegni se i tecnici coinvolti in tutte le fasi del processo del costruire non soddisfano i requisiti di cultura, di abilità, di esperienza e di senso di responsabilità.

Certamente Eiffel non conosceva le attuali normative; certamente Eiffel, che era allo stesso tempo progettista e impresario, rispondeva ai prerequisiti delle attuali normative.

Vi ho raccontato una favola. e vi ricordo che ogni favola ha una **fine** e una **morale**.

DIA n. 53

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.

DIA n. 54

La **MORALE** della FAVOLA è la seguente:

APPLICARE le **NORMATIVE** e **PROCEDURE** NON è **SUFFICIENTE**

SOLTANTO **CONOSCENZA,**
ESPERIENZA
SENSO DI RESPONSABILITÀ
ETICA
PERMETTONO
RISULTATI TECNICAMENTE CORRETTI

DIA n. 55

Grazie per la vostra pazienza