





Dall'Evento

Gestione di ponti e grandi strutture

Ing. M.P. Petrangeli

Università La Sapienza

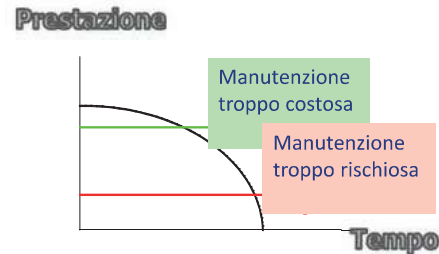
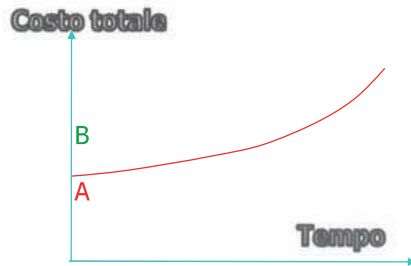
- E' quello che soddisfa le esigenze del presente senza compromettere la capacità delle future generazioni di soddisfare i loro bisogni (Brundtland 1987)



- Conflittualità tra le esigenze a breve-medio termine dei politici (più opere a basso costo) e delle imprese (più produzione/meno manutenzione) e quelle a lungo termine

1° esempio: Costo di costruzione e costo totale: il confronto va fatto considerando anche il costo attualizzato delle manutenzioni

2° esempio: Frequenza degli Interventi di manutenzione



Quanti ponti abbiamo in Italia?

| | Autostrade e SS (SR) | Totale strade extraurbane |
|--|----------------------|---|
| Rete stradale (km) Road Network | 50.000 | 100.000 (Prov. e Com. ext.urb. 50% tot) |
| Superficie delle opere (milioni di m ²) | (4% B=14 m) 28 | 40 |
| Bridges Surface (millions of m ²) | | |
| Valore delle opere valutate a 1000 Euro/m ² (miliardi di Euro) Estimated Bridges value (billion of Euro) | 28 | 40 |
| Costo manutenzione Valutato allo 0,5%/anno (milioni di Euro/anno) Maintenance cost (million of Euro/year) | 140 | 200 (About 200.000 m ² new constructions) |

**Il costo delle manutenzioni è ormai paragonabile a quello delle nuove costruzioni
La spesa sostenuta in Italia dal dopoguerra in poi è stata MOLTO INFERIORE**

I criteri di progettazione

Fino alla fine degli anni '70 la progettazione si basava unicamente sui criteri di *RESISTENZA*

Un'opera che superava il collaudo statico era supposta rimanere «*solida*» per sempre.

E' la «*firmitas*» che, insieme alla «*utilitas*» ed alla «*venustas*», dovevano essere alla base della progettazione e costruzione di ogni opera pubblica secondo Vitruvio (1° sec DC).

Agli inizi del '900 arriva il cemento armato che viene erroneamente assimilato ad un materiale lapideo, ignorando il comportamento nel tempo delle armature inglobate.

Nella seconda metà del '900 arriva il cemento armato precompresso. Vengono inizialmente sottovalutati due fenomeni:

- L'acciaio armonico, fortemente sollecitato in modo permanente, è molto più sensibile alla corrosione di un acciaio ordinario;
- Se le guaine entro cui scorrono i cavi, non vengono perfettamente iniettate, l'acciaio è privo di qualsiasi protezione.

Queste criticità, frutto della mancanza di esperienza, hanno portato a gravi ammaloramenti di queste opere, fino a provocarne in alcuni casi il crollo.



Una pila in c.a. molto deteriorata

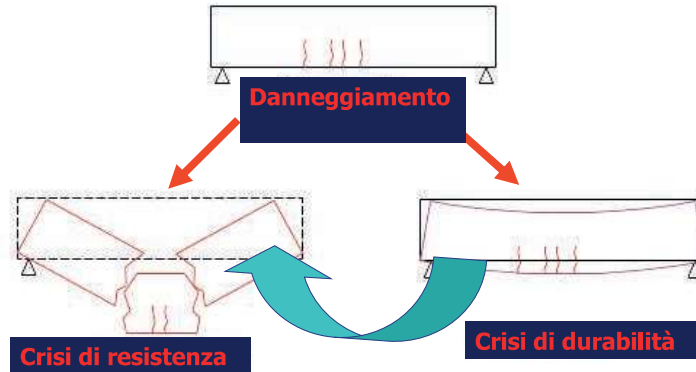


Crollo di una travata in c.a.p. per corrosione dei cavi



LA DURABILITA'

Alla fine degli anni '70 in Europa si capisce che le opere devono soddisfare anche un altro requisito LA DURABILITA'. La *durabilità* è la capacità di una struttura di mantenere le prestazioni iniziali per un determinato periodo di tempo. Ne deriva la definizione di *vita utile*, cioè il tempo nel quale è garantita la durabilità purchè si faccia correttamente la manutenzione ordinaria.



L'Italia parte in ritardo

Già nel 1976 l'OCSE-Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico pubblicò un manuale per l'ispezione dei ponti, seguito subito dopo da altri che avevano come oggetto la manutenzione, la valutazione delle capacità portanti ed il rinforzo di queste opere.

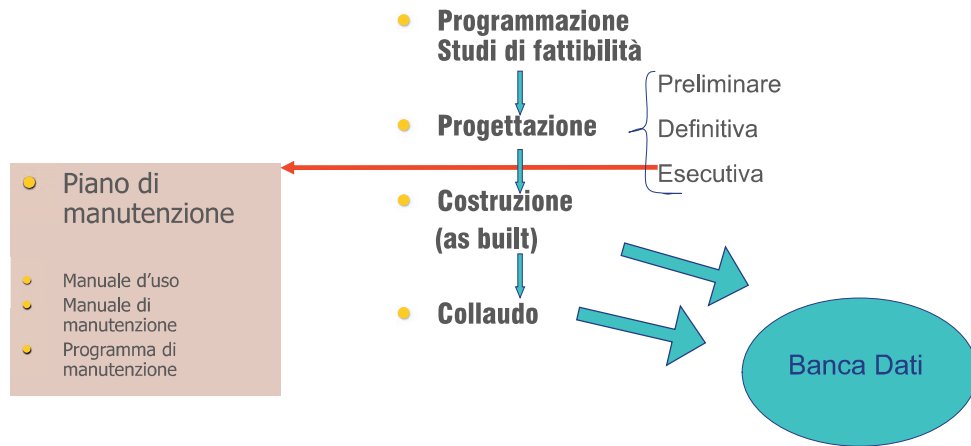
In Italia, a parte alcune circolari di Anas, RFI ed alcune amministrazioni locali, volte prevalentemente ad regolare il sistema ispettivo, una sistemazione organica ed esaustiva di come gestire le opere d'arte, si ha con la legge 11 feb. 94, n 109 (Merloni)

In questa legge vengono prescritte due attività che, in precedenza non erano cogenti:

La creazione di **una banca dati**

La presenza, nel progetto esecutivo, **del piano di manutenzione**

La nascita di un'opera secondo la «Merloni»



Quali sono le criticità più frequenti ?

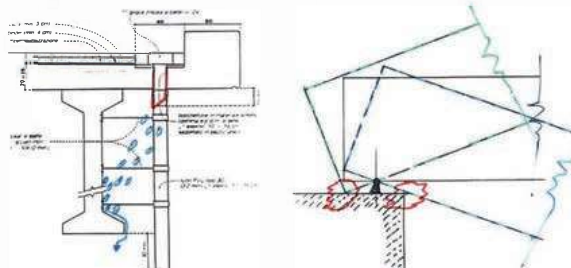
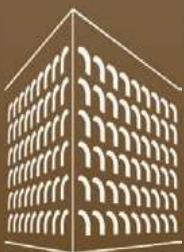
- 1) DEGRADO DEI MATERIALI
- 2) DANNI A SINGOLI ELEMENTI STRUTTURALI
- 3) DISSESTI GENERALIZZATI DELLA STRUTTURA
- 4) LIMITAZIONI AL LIVELLO DI SERVIZIO

PERCHE' ?

- 1) CARENZE PROGETTUALI
 - DOVUTE AD "IGNORANZA"
 - DOVUTE AD ERRORI
- 2) DIFETTI DI COSTRUZIONE
- 3) INSUFFICIENTE (ASSENZA DI) MANUTENZIONE
- 4) AMBIENTE AGGRESSIVO
- 5) EVENTI ECCEZIONALI

Il degrado dei materiali è spesso innescato dal cattivo funzionamento di elementi secondari

- Impermeabilizzazione: *mancante o danneggiata*
- Drenaggio delle acque meteoriche: *insufficiente, occluso*
- Giunti: *danneggiati, non adeguati*
- Appoggi: *invecchiati, non adeguati*



Il degrado dei materiali

Calcestruzzo

| | |
|---------------------------|--|
| Cause chimiche | Carbonatazione Reattività degli inerti Contaminazione da cloro (Sali antigelo o marini) « « zolfo |
| Fisico/meccaniche | Gelo Abrasiono |
| Cattiva esecuzione | Ritiro eccessivo Segregazione degli inerti Perdita di lattice dalle casseforme |

Acciaio

| | |
|-----------------------|-------------------|
| Cause chimiche | Corrosione |
| Fatica | Fragilità-Rottura |

Carbonatazione del calcestruzzo

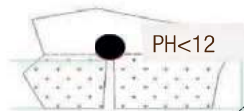
Elementi necessari Anidride carbonica (CO₂/inquinamento) + acqua(permeabilità) + idrossido di calcio (sempre presente nella pasta di cemento)

Effetti diretti Riduzione del PH a partire dalle superfici esterne

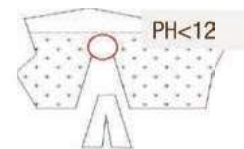
Possibili conseguenze Ossidazione del ferro che **augmenta di volume**



La profondità di carbonatazione P_c è minore del copri ferro. L'armatura è protetta.



P_c interessa tutto il copri ferro. Inizia la corrosione. Si hanno le prime fessure.



La corrosione avanza (200/300 u/an). Si ha l'espulsione del copri ferro (spalling).

Può essere facilmente determinata con un comune indicatore di PH (fenolftaleina)

La zona acida, interessata dalla carbonatazione, non si colora di rosa
Si può operare su carote (microcarote) o su scarifiche effettuate in situ



Una situazione molto pericolosa è quella in cui non si hanno fessure in superficie, che appare integra, ma si ha il distacco del copriferro che può rilevarsi facilmente battendo la superficie con un martello che provoca un suono sordo.



Attacco dello zolfo

Elementi necessari SO₄ nel terreno (>0,1-0,2%) o nell'acqua (>150-1500 ppm)

Effetti diretti Aumento di volume Sgretolamento del calcestruzzo

Possibile conseguenza Perdita totale della struttura

**ATTENZIONE ! L'ATTACCO
INTERESSA TUTTA LA
MASSA DEL
CALCESTRUZZO E NON
SOLAMENTE LO STRATO
SUPERFICIALE**



Un errore progettuale frequente: Apparecchi di appoggio sottodimensionati

In passato si sottostimavano gli effetti della temperatura e dei fenomeni lenti (ritiro e fluage) nel calcestruzzo.

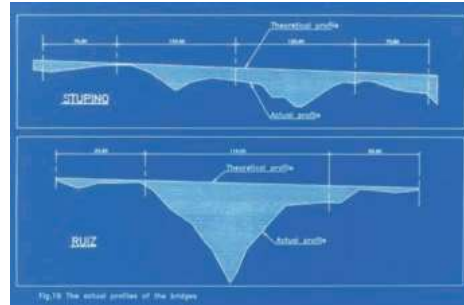


La perdita degli appoggi è particolarmente pericolosa in fase di sisma (Osaka 1995)



Nei primi ponti costruiti a sbalzo, che non venivano resi solidali in mezzera, sono stati sottovalutati gli effetti del fluage

Il viadotto RUIZ dell'autostrada SA-RC aveva una freccia in mezzera di circa 50 cm. Per consentire il traffico veniva aggiunta pavimentazione che, con il suo peso, peggiorava la situazione



Possibili errori di costruzione

- Difetti di costruzione che non si evidenziano in condizioni di esercizio
- Armature di confinamento insufficienti
- Posizionamento non corretto delle armature
- Lunghezze di ancoraggio insufficienti



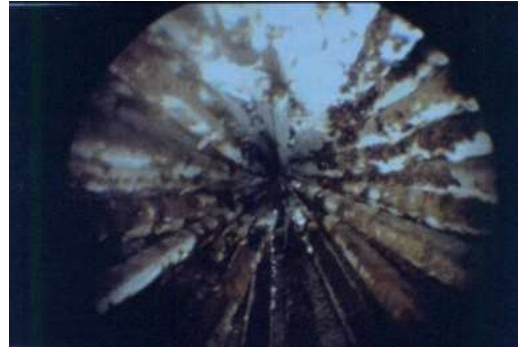
Danni provocati dal terremoto (Kobe 1995) dovuti ad insufficiente armatura di confinamento



Nei primi cavi di precompressione l'iniezione delle guaine era spesso mal fatta con conseguente corrosione dell'acciaio, fino alla rottura del cavo stesso.



Cavi male iniettati

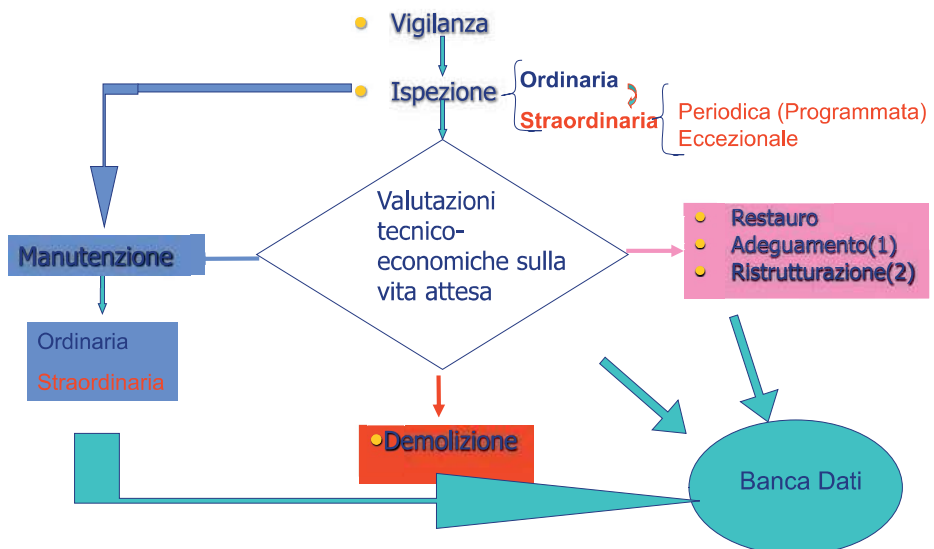


Cavi privi di iniezione (foto con endoscopio)



Altro errore di costruzione frequente nei primi ponti precompressi con cavi scorrevoli era la mancanza di spazio tra le guaine per far passare il calcestruzzo, aggravato dalla insufficiente vibrazione dello stesso.

La gestione di una grande struttura



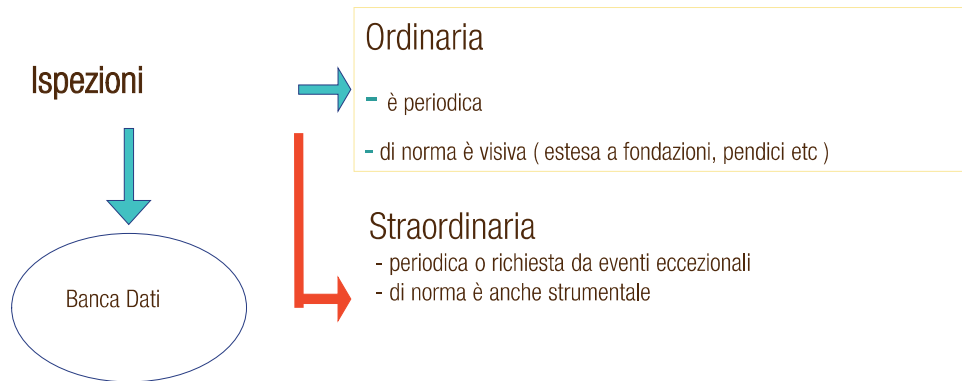
(1) Senza variazione di geometria o di schema statico- Richiede un nuovo collaudo

(2) Con " " e/o " " " " " "



I livelli dei controlli

- Vigilanza** - è permanente (giornaliera)
- è visiva (limitata alle parti visibili)



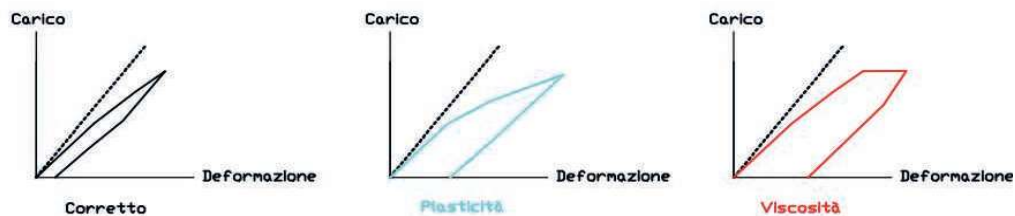
Il collaudo statico

- 1- Accertarsi che: (i) il modello ideale assunto nei calcoli sia valido;(ii) le azioni applicate su di esso siano quelle prescritte dalla normativa
- 2- accertarsi che l'opera fisicamente realizzata corrisponda al modello di calcolo
 - 2 a- controlli sui materiali
 - 2 b- controlli dimensionali
 - 2 c- controlli sullo stato tensionale di singoli elementi
 - 2 d- controlli sullo stato generale dell'opera



Le prove di carico statiche

- Assenza di danneggiamenti o malfunzionamento visibili
- Buona proporzionalità tra carichi e risposta
- Deformazione residua «piccola» (generalmente nei ponti < 15% f_{max})



Attenzione: Considerare il differenziale di temperatura tra estradosso ed intradosso

Esempio: Trave L=40m alta 3m $dT= 10^{\circ}C$
Freccia in mezzera 6,7 mm

Demolire o riparare ?

- La decisione non può prescindere dall'interesse storico e artistico dell'opera in questione
- La memoria storica non deve essere cancellata



Il ponte di EIFFEL ed il nuovo ponte sul Douro a Porto



Il ponte di ARNODIN a Constantine (Algeria)



Il Polcevera di Morandi ????

Cosa fare per aumentare la durabilità e ridurre i costi di gestione?

In costruzione:

- Costruire "bene" (allungare la durata delle concessioni)

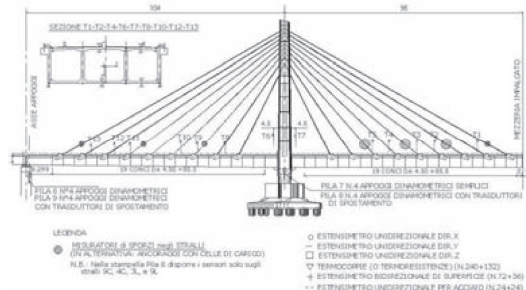
La durata della concessione per il ponte di Milleau è di 75 anni



- Costruire bene pensando ai costi di esercizio (Trattare le superfici dei calcestruzzi, usare materiali più "nobili" etc)

Il cavalcavia del Tintoretto a Roma: alluminio preverniciato ed inox per tutte le finiture

- In esercizio:
- - Sistema ispettivo efficiente
- - Interventi tempestivi
- - Monitoraggio permanente



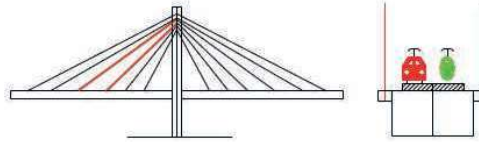
Il nuovo ponte sul PO e l'alveo circostante sono monitorati permanentemente con un grande numero di sensori

Dopo la tragedia delle torri gemelle si capisce che le opere devono soddisfare anche un altro requisito *LA ROBUSTEZZA*

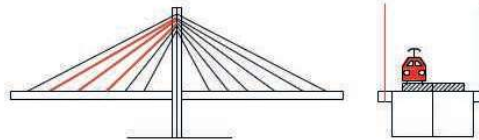
- *La robustezza* è la capacità di una struttura di sopravvivere ad un evento eccezionale, non previsto in progetto, per il tempo necessario a salvare le vite umane
- Se le torri gemelle fossero state in c.a., come il Burj Khalifa di Dubai (828 m di altezza) sarebbero durate circa due ore in più consentendo di salvare molte vite.

Un esempio di «robustezza»: il ponte AV sul PO. L'esercizio è garantito, se pur con limitazioni, anche con tre stralli consecutivi rotti

2 stralli rotti



3 stralli rotti



I requisiti di VITRUVIO aggiornati ad oggi



- Firmitas (resistenza)
- Utilitas (funzionalità)
- Venustas (bellezza)
- Durabilità
- Robustezza