



Con il patrocinio di

GESTIONE DI PONTI E GRANDI STRUTTURE

15 NOVEMBRE 2018

Mario Paolo Petrangeli



1 Generalità

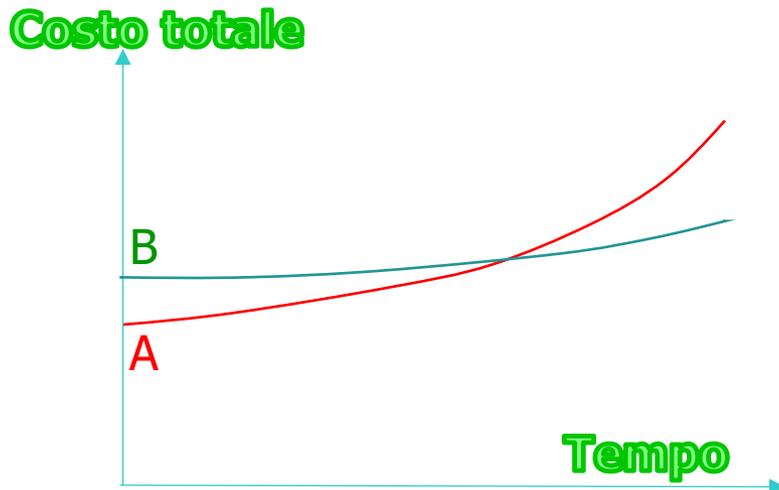
Sviluppo sostenibile

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

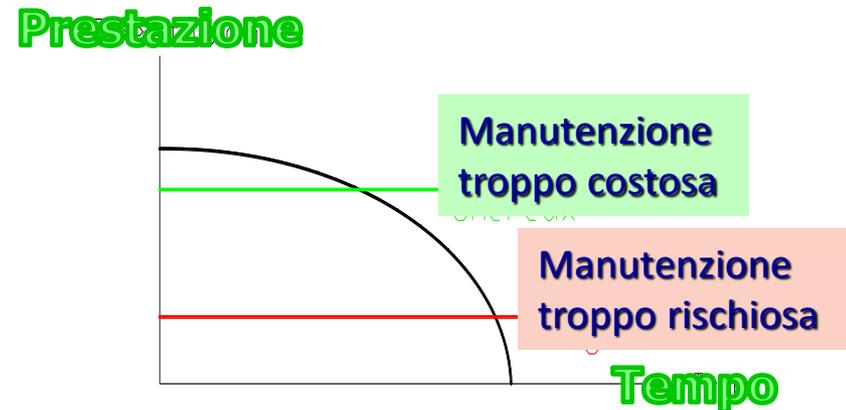


- Conflittualità tra le esigenze a breve-medio termine dei politici (più opere a basso costo) e delle imprese (più produzione/meno manutenzione) e quelle a lungo termine

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 (300.000) (Prov. e Com. ext.urb. 50% tot)
Superficie delle opere (milioni di m ²) Bridges Surface (millions of m ²)	(4% B=14 m) 28	40
Valore delle opere valutate a 1000 Euro/m ² (miliardi di Euro) Estimated Bridges value (billion of Euro)	≈28 ▲	≈40 (70)
Costo manutenzione Valutato allo 0.5%/anno (milioni di Euro/anno) Maintenance cost (milion of Euro/year)	140	200 (350) (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

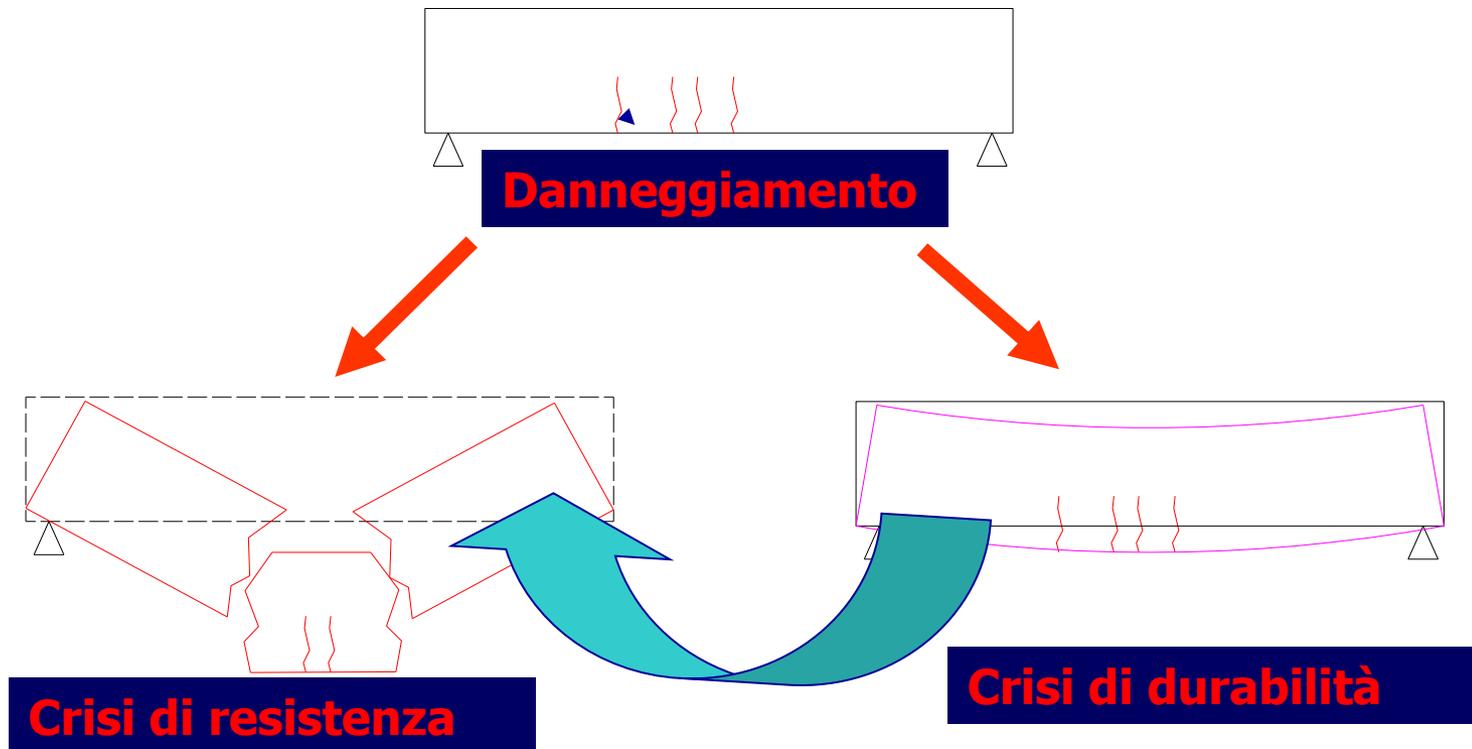


LA DURABILITA'

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.

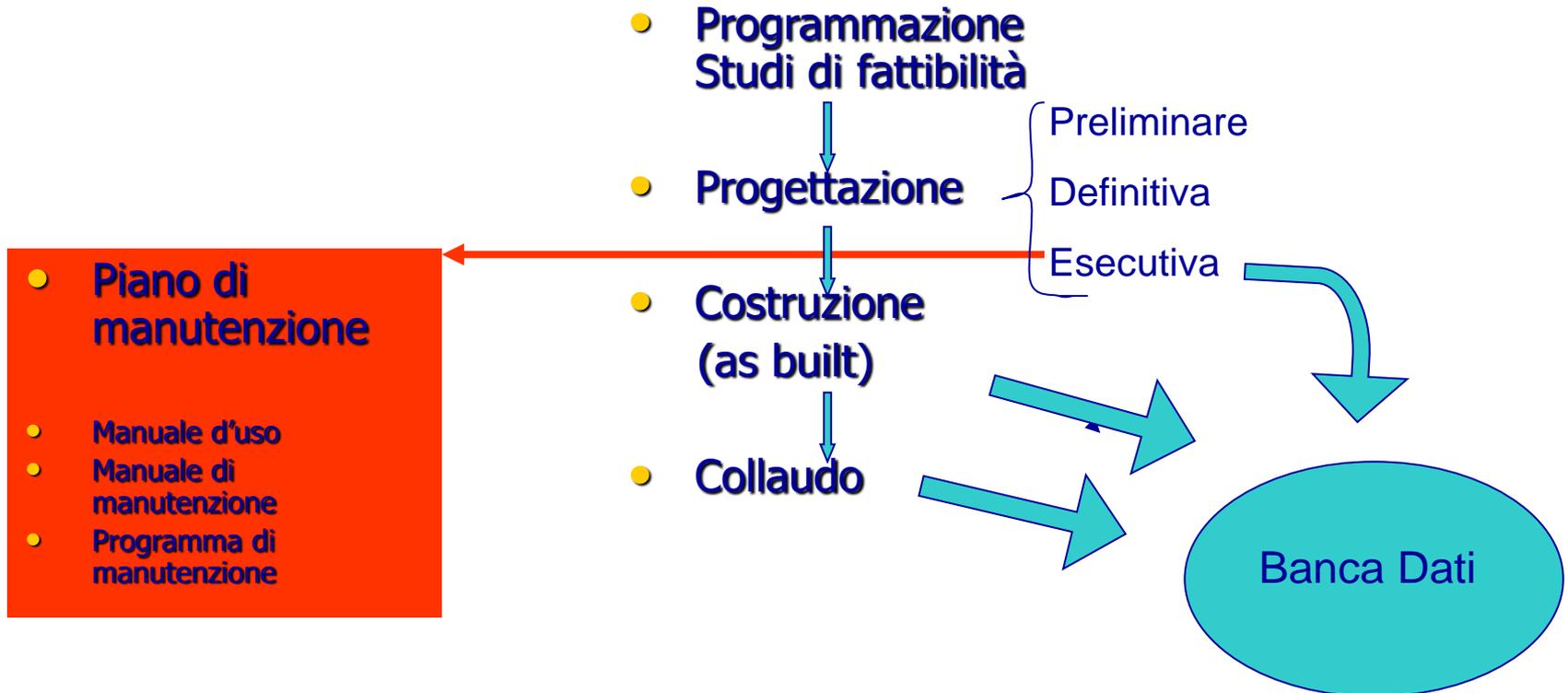
In Italia, a parte alcune circolari di Anas, RFI ed alcune amministrazioni locali, volte prevalentemente ad regolare il sistema ispettivo, una sistemazione organica ed esaustiva di come gestire le opere d'arte, si ha con la **legge 11 feb. 94, n 109 (Merloni)**

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»



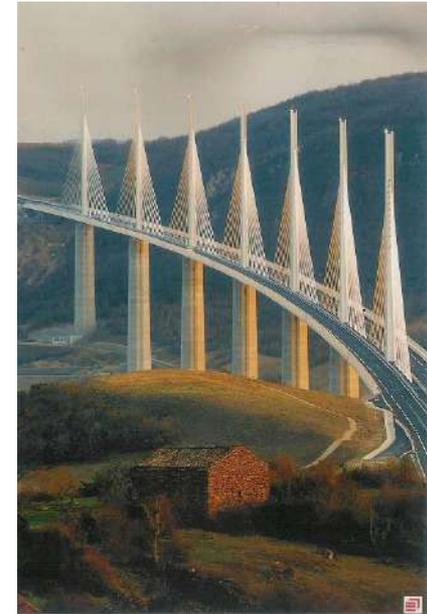
Cosa fare per aumentare la durabilità e ridurre i costi di gestione?

- In costruzione:

- **Costruire “bene” (allungare la durata delle concessioni)**
- **Usare materiali più pregiati per le parti accessorie**



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

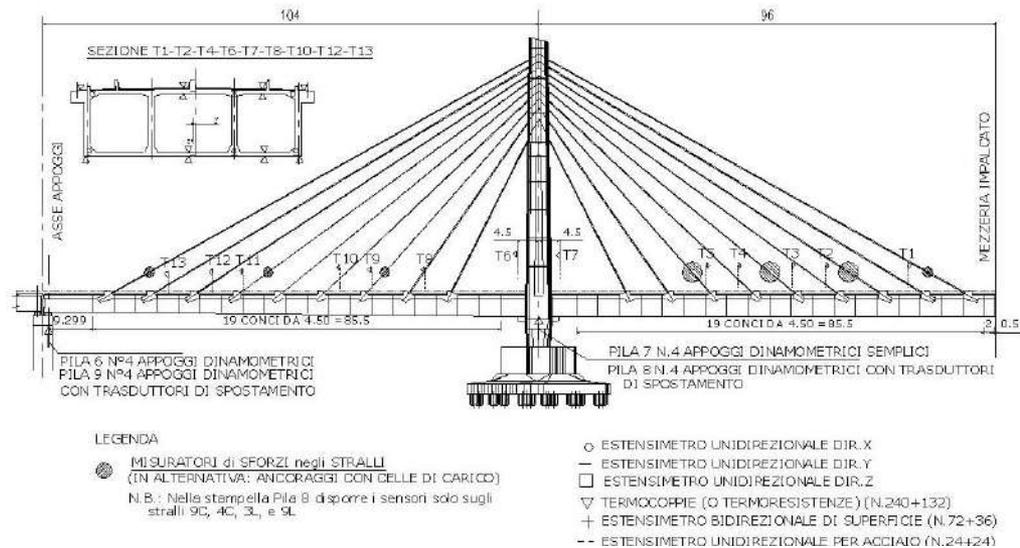
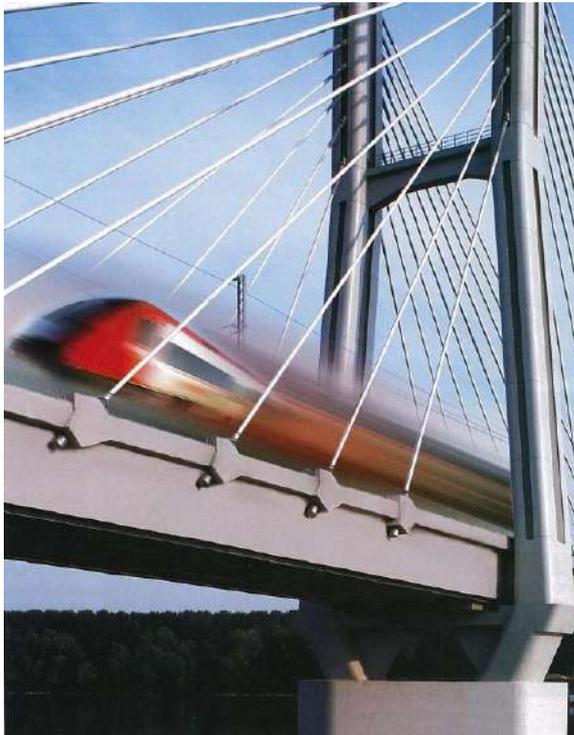


- **Costruire bene pensando ai costi di esercizio** (Trattare le superfici dei calcestruzzi, usare materiali più “nobili” etc)

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

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

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



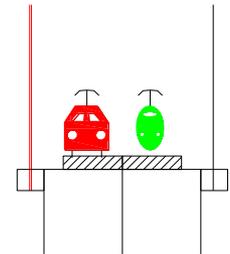
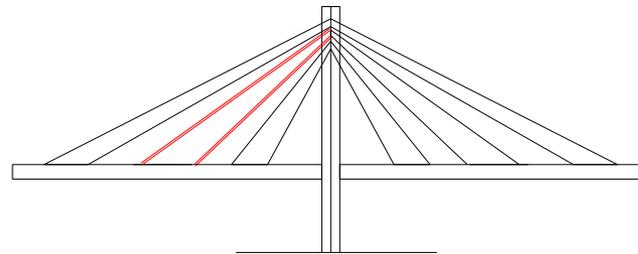
Il nuovo ponte sul PO e l'alveo circostante sono monitorati permanentemente con un grande numero di sensori

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

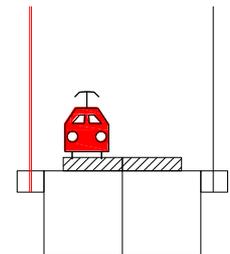
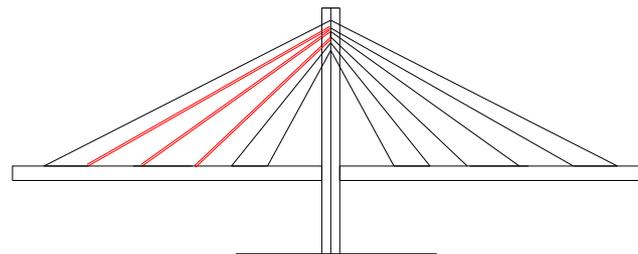
- **La robustezza** è la capacità di una struttura di sopravvivere ad un evento eccezionale, non previsto in progetto, per il tempo necessario a salvare le vite umane
- Se le torri gemelle fossero state in c.a., come il Burj Khalifa di Dubai (828 m di altezza) sarebbero durate circa due ore in più consentendo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



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

Calcestruzzo

Cause chimiche

Carbonatazione
Reattività degli inerti
Contaminazione da cloro (Sali antigelo o marini)
 « « zolfo

Fisico/meccaniche

Gelo
Abrasione

Cattiva esecuzione

Ritiro eccessivo
Segregazione degli inerti
Perdita di lattice dalle casseforme

Acciaio

Cause chimiche

Corrosione

Fatica

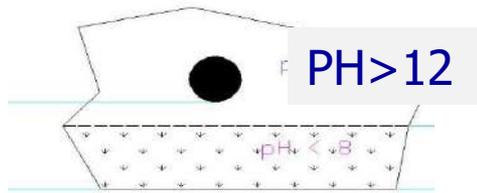
Fragilità-Rottura

Carbonatazione del calcestruzzo

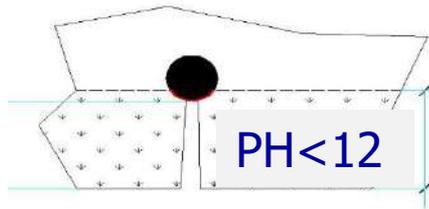
Elementi necessari Anidride carbonica (CO₂/inquinamento) + acqua(permeabilità) + idrossido di calcio (sempre presente nella pasta di cemento)

Effetti diretti Riduzione del PH a partire dalle superfici esterne

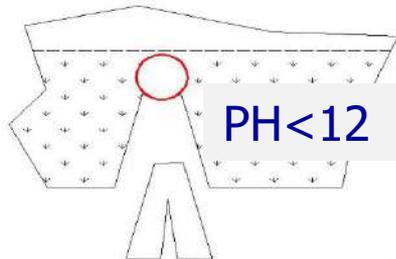
Possibili conseguenze Ossidazione del ferro che **aumenta di volume di 5-6 volte**



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



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



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

Carbonatazione del calcestruzzo

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

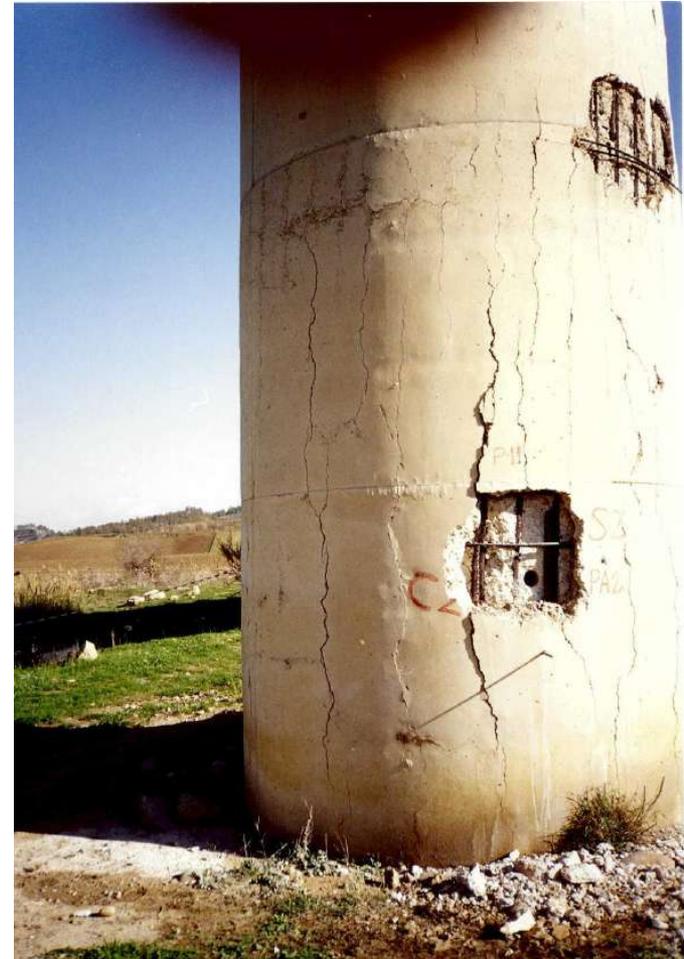
Elementi necessari SO₄ nel terreno (>0,1-0,2%) o nell'acqua (>150-1500 ppm)

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

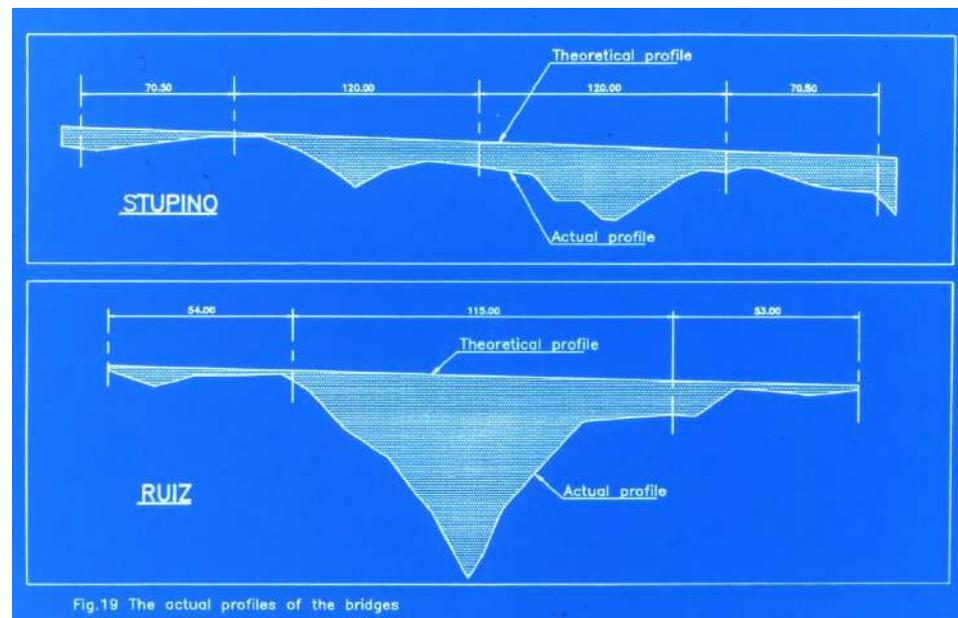
In passato si sottostimavano gli effetti della temperatura e dei fenomeni lenti (ritiro e fluage) nel calcestruzzo.



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

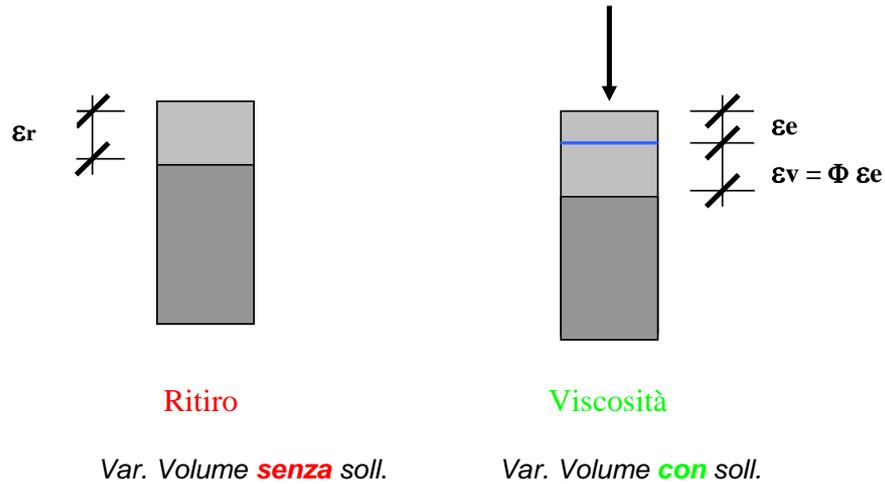


Nei primi ponti costruiti a sbalzo, che non venivano resi solidali in mezzeria, sono stati sottovalutati gli effetti dei fenomeni lenti (fluage e ritiro nel cls, rilassamento per l'acciaio)



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

PRINCIPALI CAUSE DI
 VARIAZIONE DI VOLUME DEL CALCESTRUZZO
 (Oltre alla temperatura)



Ritiro, Viscosità



Umidità relativa



Temperatura



Rapporto A/C



LA VISCOSITA' E' ASSIMILABILE
AD UNA RIDUZIONE APPARENTE DEL MODULO ELASTICO



Normalmente ciò non comporta una **variazione** dello stato di sollecitazione nel tempo, ma **solo dello stato di deformazione**.

Può raggiungersi uno **STATO LIMITE DI SERVIZIO**

Solo quando **si aumenti il grado di iperstaticità della struttura**,
durante la costruzione o nel corso della sua vita,
la viscosità provoca anche **una variazione dello stato tensionale**

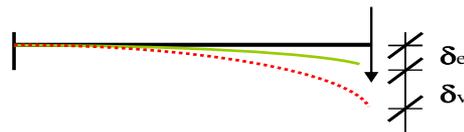
Può raggiungersi uno **STATO LIMITE DI SERVIZIO**

Se la struttura non ha sufficiente duttilità può raggiungersi uno
STATO LIMITE ULTIMO

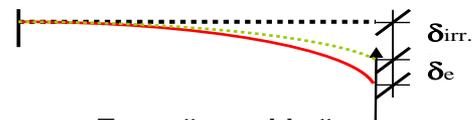
LA VISCOSITA' E' TANTO MAGGIORE
QUANTO PIU' IL CALCESTRUZZO E'
SOLLECITATO IN GIOVANE ETA'



E' praticamente impossibile annullare le deformazioni viscosi,
in una struttura "**vecchia**",
intervenedo con uno stato di coazione, poiché
le deformazioni che esso provoca sono praticamente solo quelle elastiche



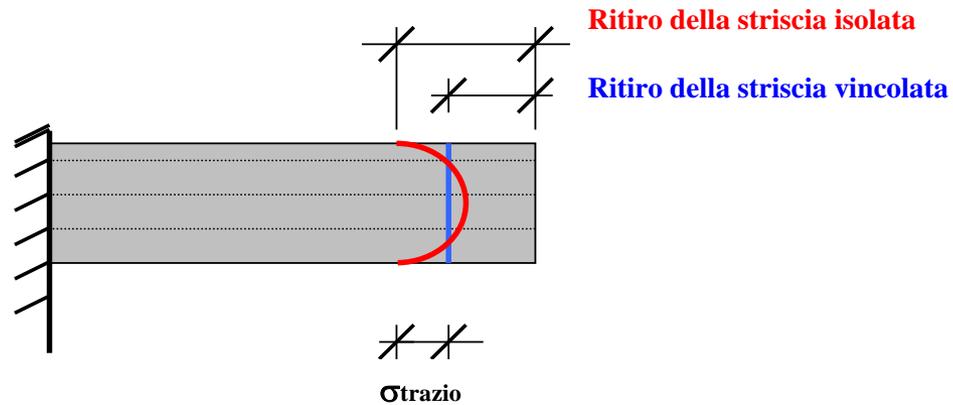
Trave " giovane "



Trave " vecchia "

IL RITIRO DEL CALCESTRUZZO

PUO' ESSERE UNIFORME O DIFFERENZIALE



Fessurazione a “ ragnatela “ delle solette dei ponti
che ne compromettono la “ DURABILITA’ “

Scarsa attendibilità dei risultati che si ottengono
con le prove di “ RILASCIO DELLE TENSIONI “

Fessurazioni verticali (specie allo spicco)
delle PILE SCATOLARI

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



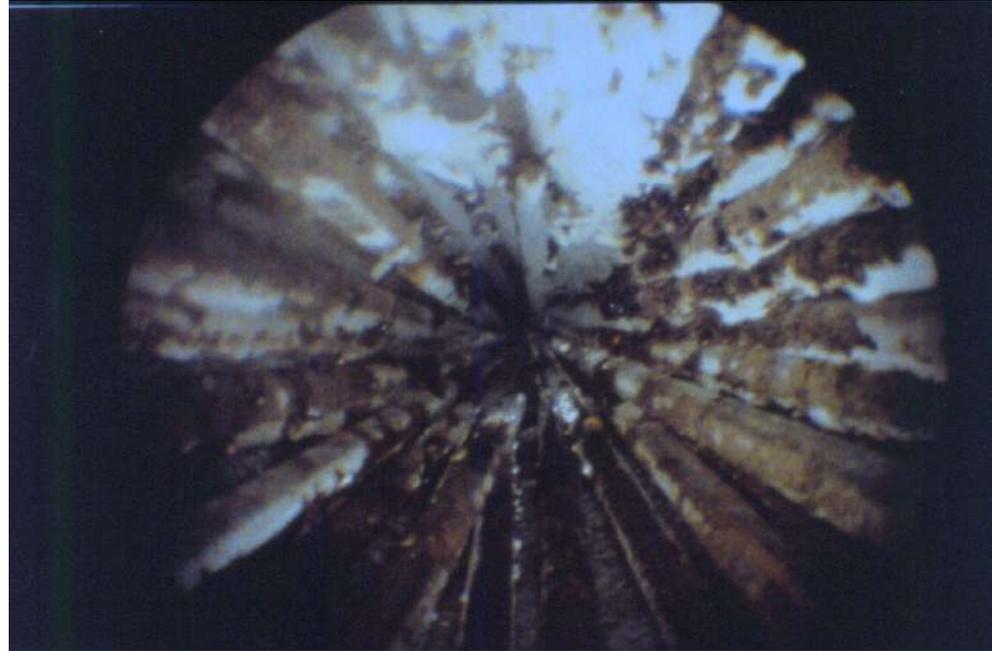
Danni provocati dal terremoto (Kobe 1995) dovuti ad insufficiente armatura di confinamento



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)

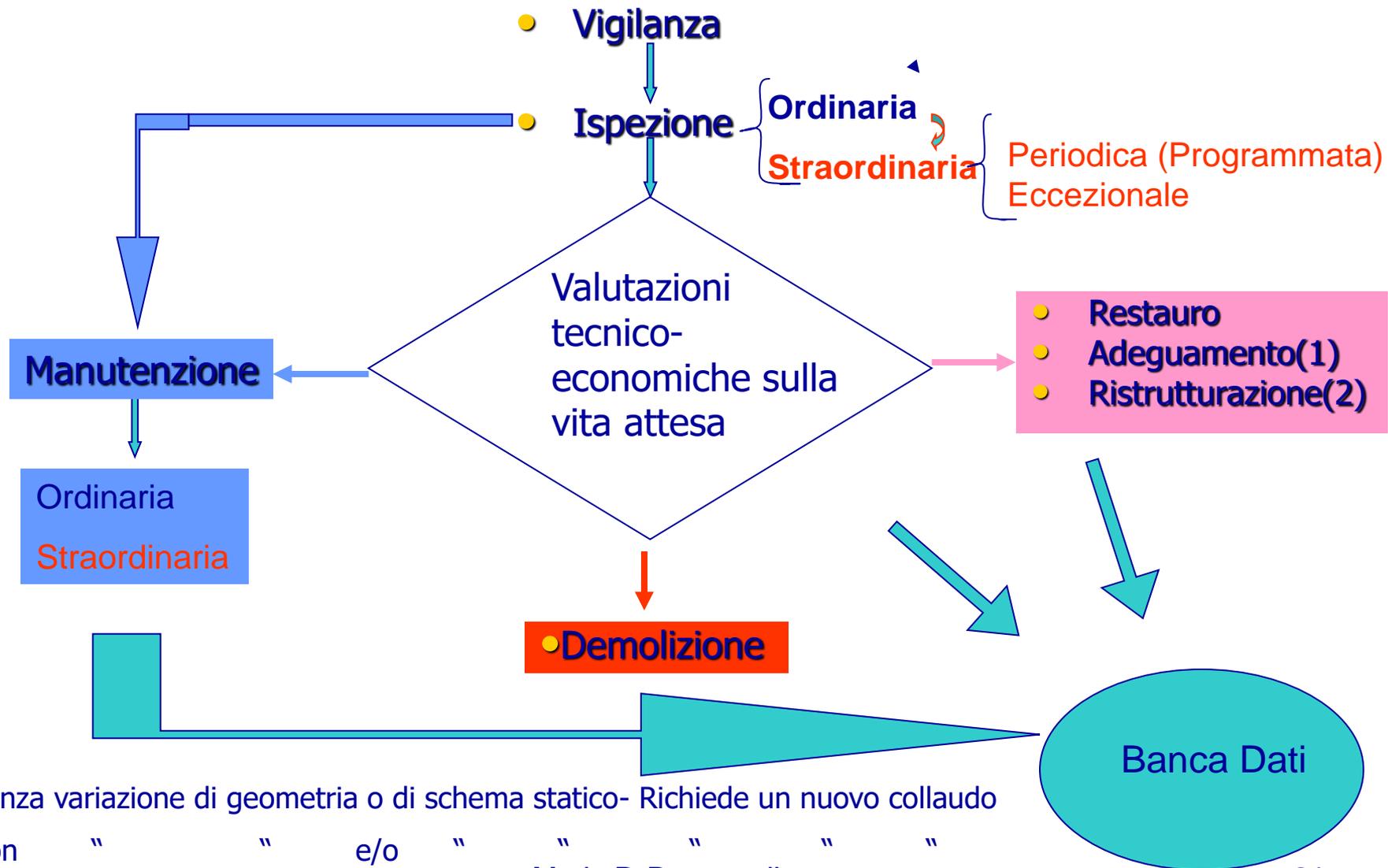


Altro errore di costruzione frequente nei primi ponti precompressi con cavi scorrevoli era la mancanza di spazio tra le guaine per far passare il calcestruzzo, aggravato dalla insufficiente vibrazione dello stesso.



3 Diagnostica

La gestione di una grande struttura



● Vigilanza

● Ispezione

Ordinaria

Straordinaria

Periodica (Programmata)
Eccezionale

Valutazioni
tecnico-
economiche sulla
vita attesa

● Restauro
● Adeguamento(1)
● Ristrutturazione(2)

Manutenzione

Ordinaria
Straordinaria

● Demolizione

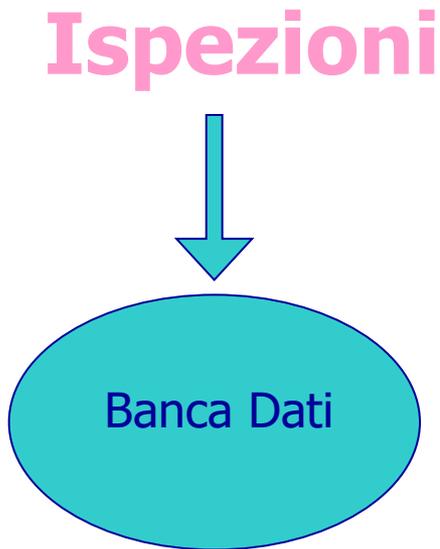
Banca Dati

(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)



Ordinaria

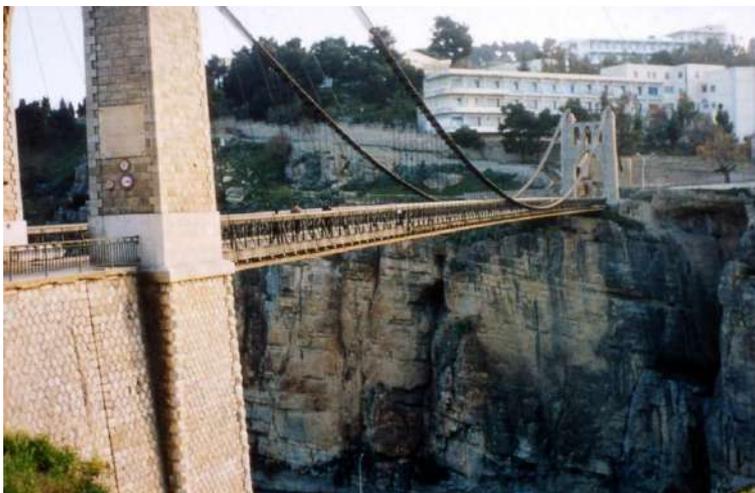
- è periodica
- di norma è visiva (estesa a fondazioni, pendici etc)

Straordinaria

- periodica o richiesta da eventi eccezionali
- di norma è anche strumentale

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 ARNODIN a Constantine (Algeria)



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

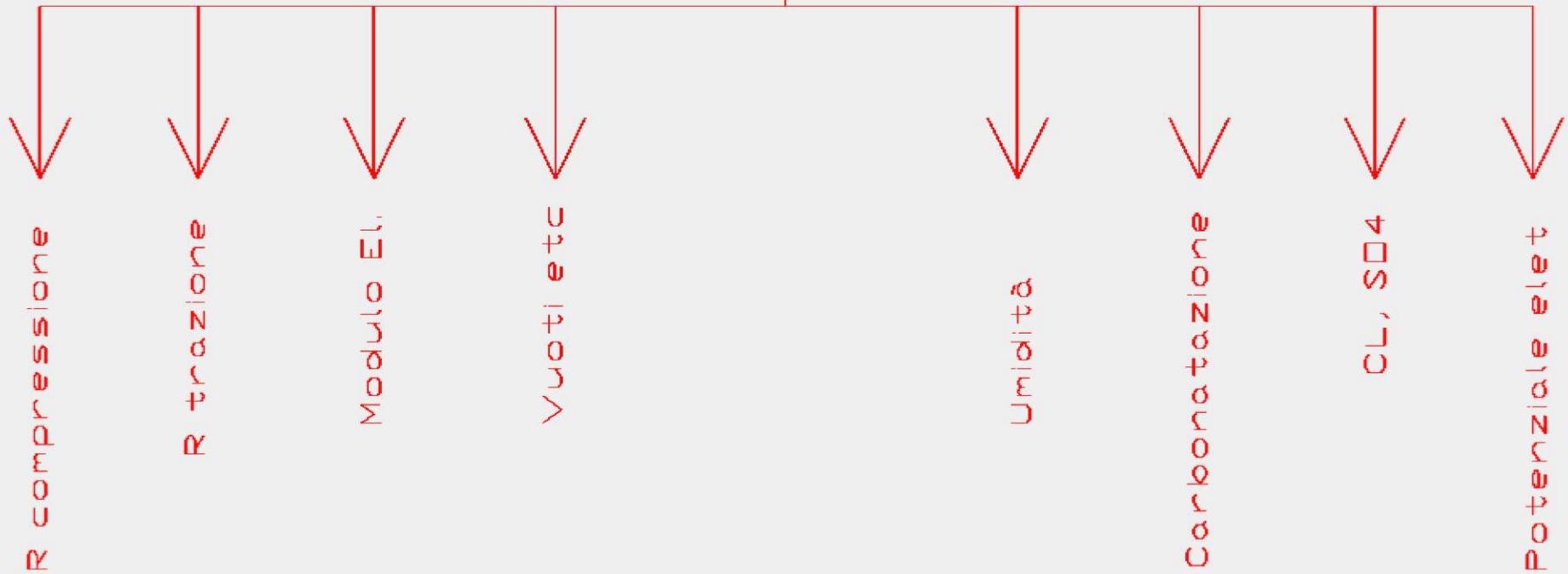


Il Polcevera di Morandi
????

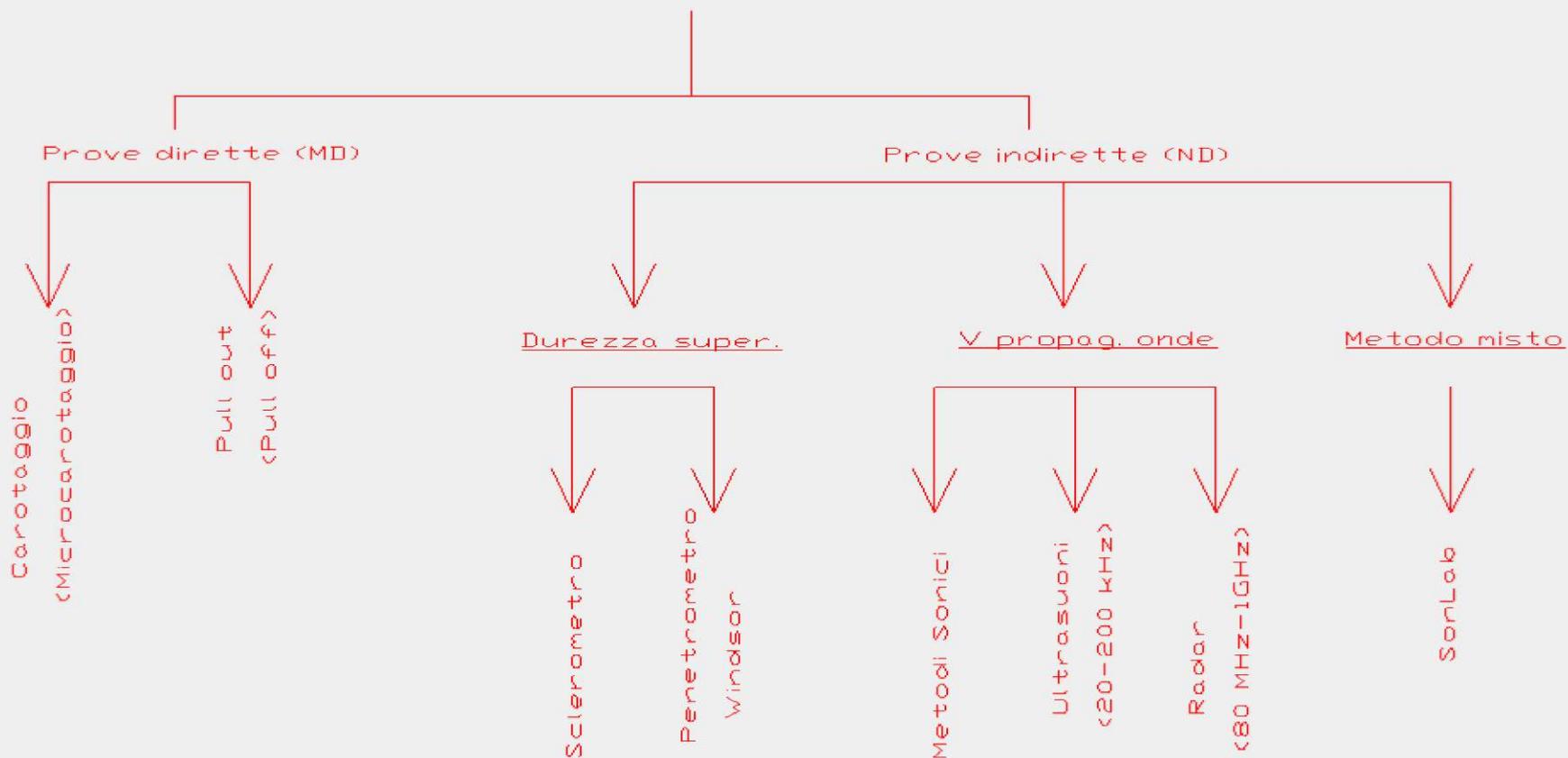
CONTROLLI SUI CALCESTRUZZI

Caratteristiche meccaniche

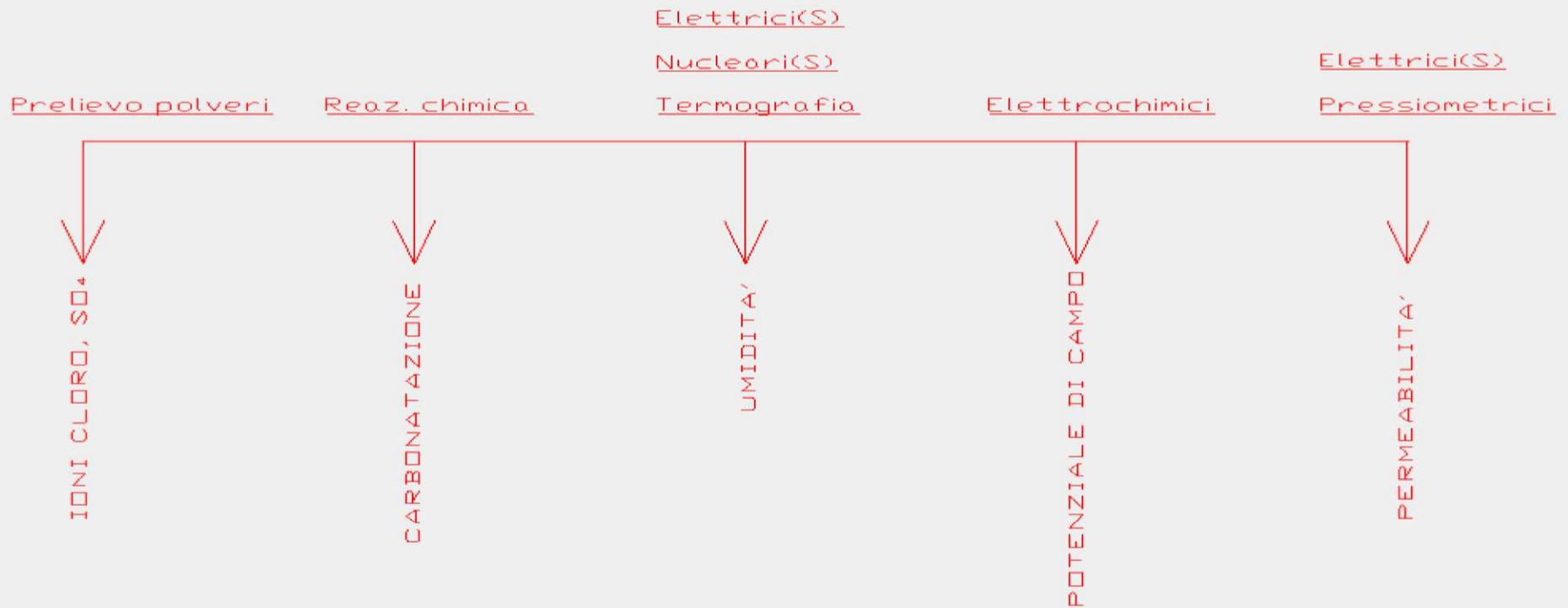
Caratteristiche chimico-fisiche



CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI CALCESTRUZZI



CARATT. CHIMICO-FISICHE DEI CLS (DURABILITA')



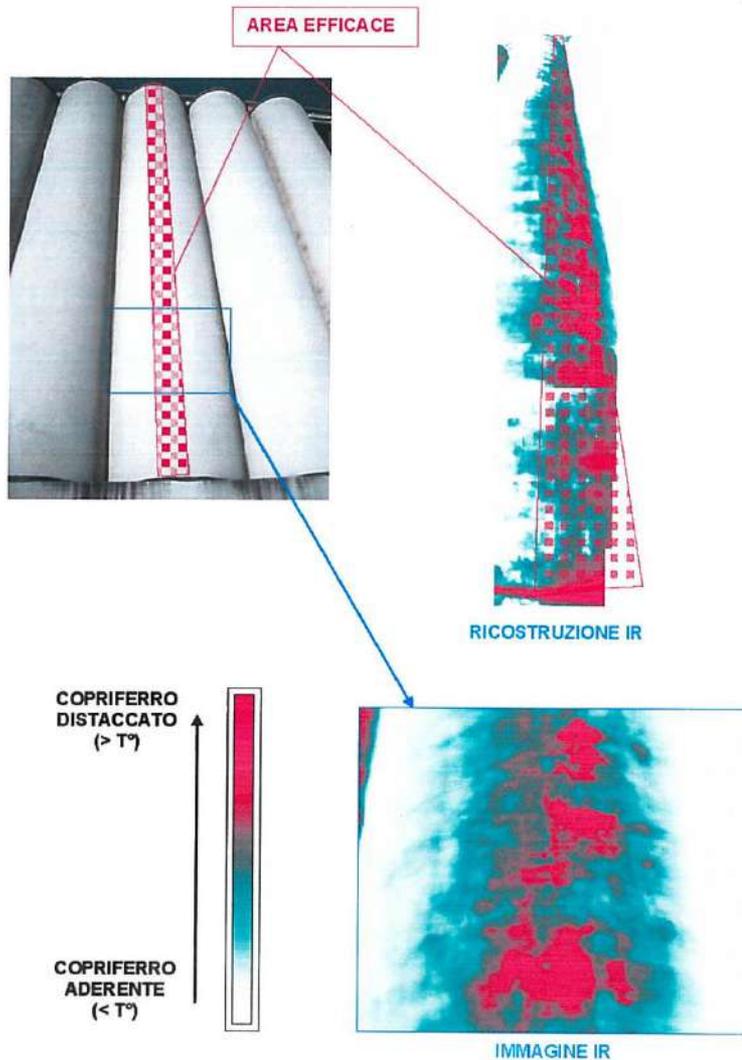
Carbonatazione del calcestruzzo

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



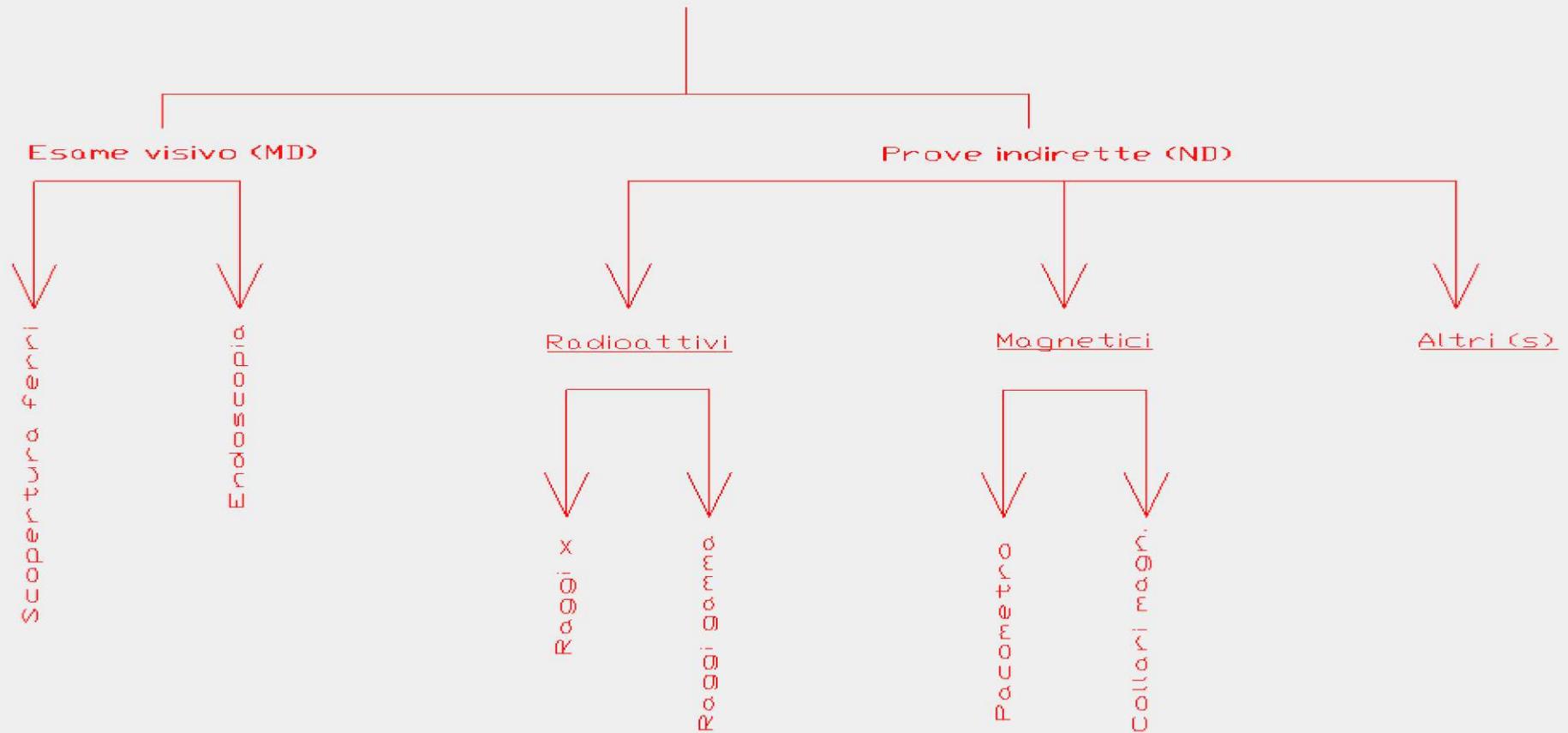


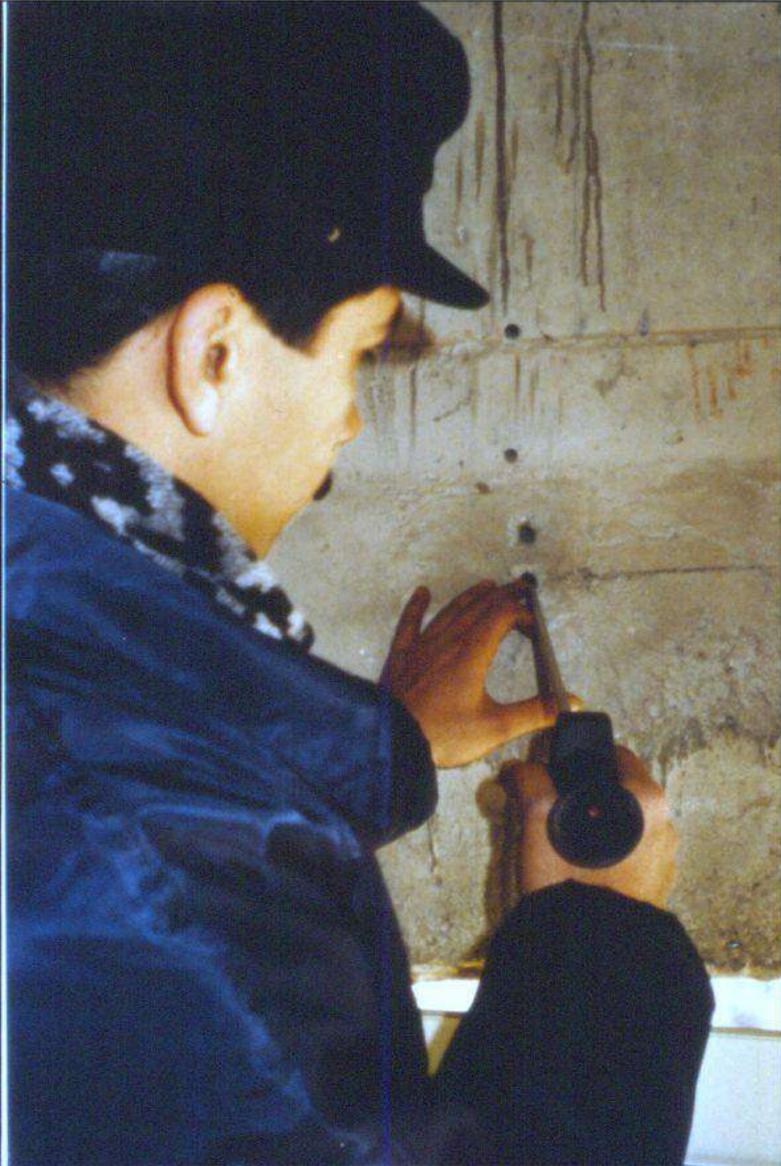
TERMOGRAFIA

Le foto a raggi infrarossi possono essere un valido aiuto per comprendere **qualitativamente** lo stato di degrado del calcestruzzo.

Nell'esempio: indagine su silos per frumento a Napoli

CONTROLLI SU CAVI E BARRE PER C.A.





L'endoscopio da informazioni puntuali
ma molto attendibili.
Sono sufficienti fori di pochi mm e
quindi la prova è poco invasiva.

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



Prove di carico
statiche



Caratterizzazione
dinamica

RILIEVI GEOMETRICI (Importanza del «as built»)

Geometria delle pile

Verticalità

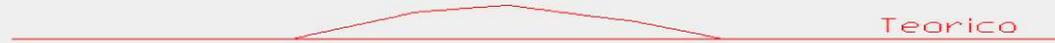
Rotazione intorno asse
verticale



Andamento planimetrico

Misurato

Teorico



Andamento altimetrico

Cedimento degli appoggi

Cedimento delle fondazioni

Teorico

Misurato



PROVE DI CARICO STATICHE

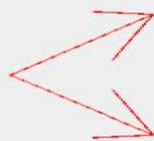
Si applica un'azione nota



Si misurano una o più grandezze fisiche



Si confrontano le grandezze misurate con quelle attese



Carichi o forze statiche

Spostamenti, rotazioni, forze, tensioni etc

Si da un giudizio sull'opera

Si tara il modello di calcolo

AVVERTENZE

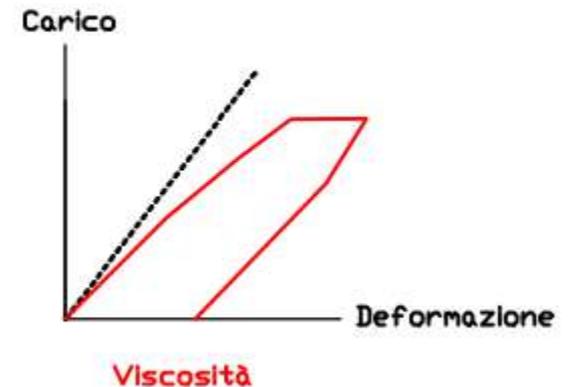
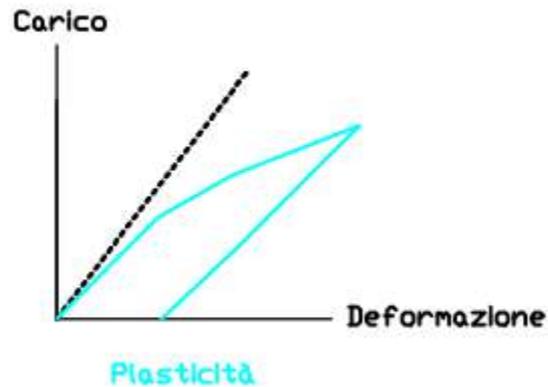
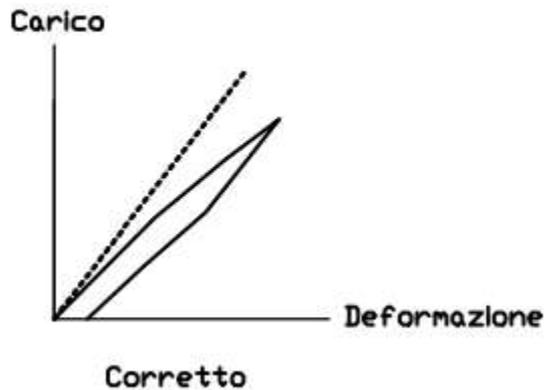
Esatto posizionamento

Importanza delle var.termiche e degli elemeni non strutt.

Importanza della linearità della risposta e dei valori residui

Le prove di carico statiche

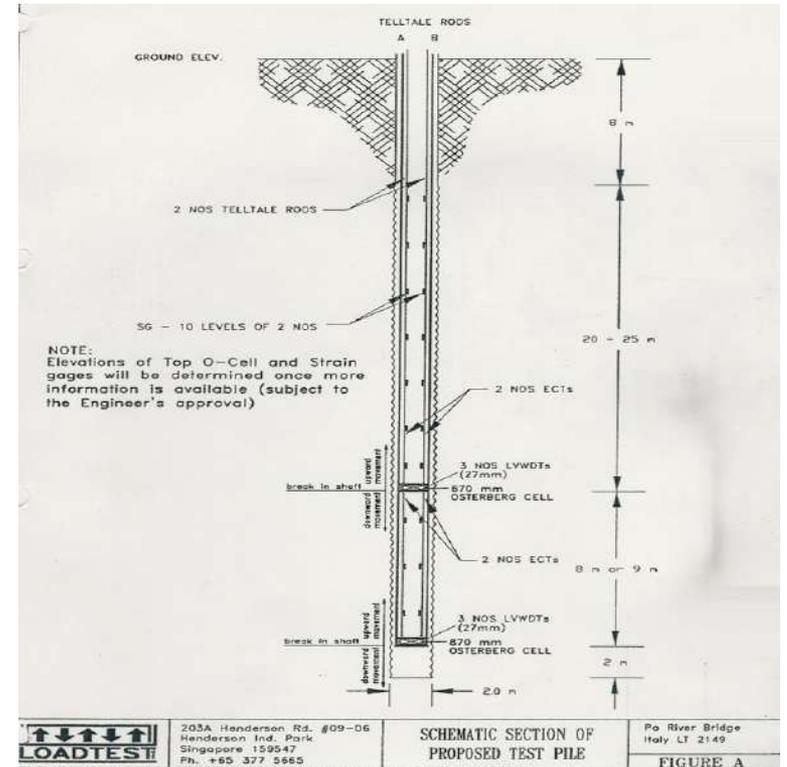
- Assenza di danneggiamenti o malfunzionamento visibili
- Buona proporzionalità tra carichi e risposta
- Deformazione residua «piccola» (generalmente nei ponti < 15% f_{max})



Attenzione: Considerare il differenziale di temperatura tra estradosso ed intradosso

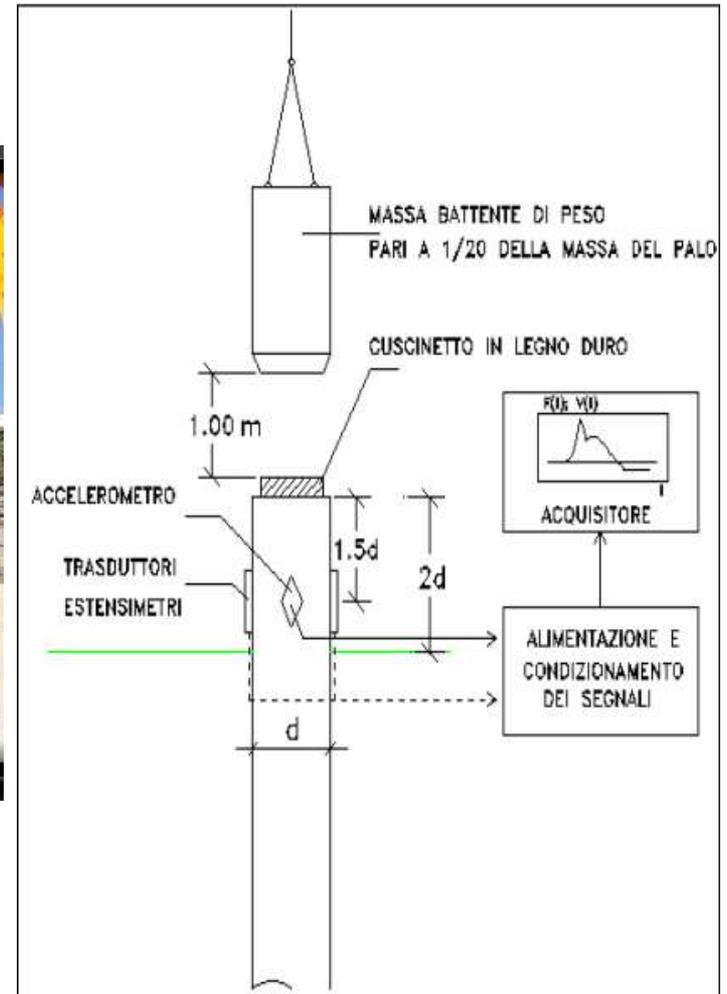
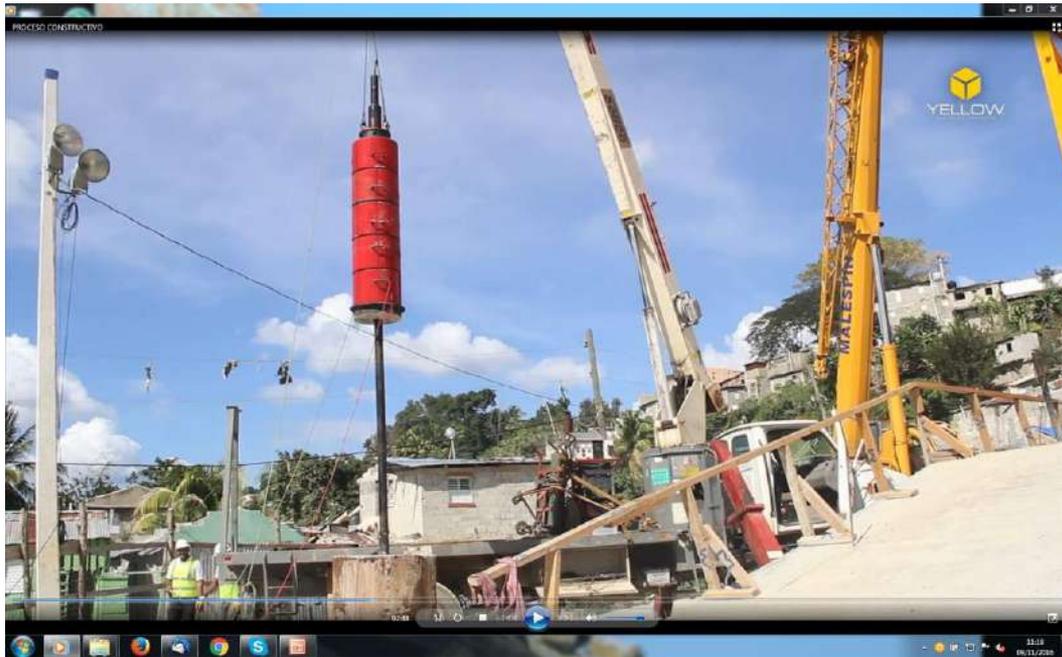
Esempio: Trave L=40m alta 3m $dT= 10^{\circ}C$
Freccia in mezzera 6,7 mm

Prove di carico su pali di grosso diametro Il metodo OSTERBERG



Prove di carico su pali di grosso diametro

Il metodo «Case»



PROVE DINAMICHE

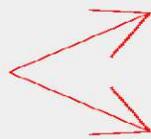
Si "eccita" la struttura



Si misurano una o più
grandezze fisiche



Si confrontano le
grandezze misurate
con quelle attese



Forzante nota o non

Spostamenti, velocità,
rotazioni

Si dà un giudizio sull'opera

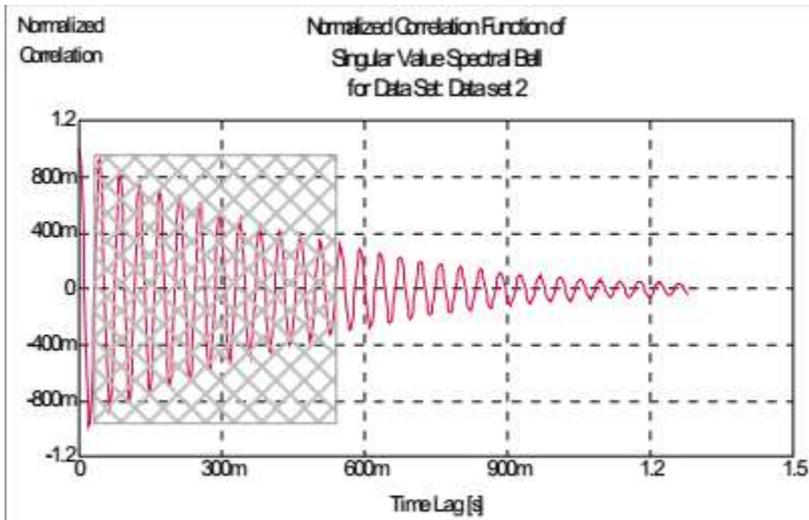
Si tara il modello di calcolo

AVVERTENZE

Rischi delle eccitazioni
forzate

Importanza degli
elementi non strutt.

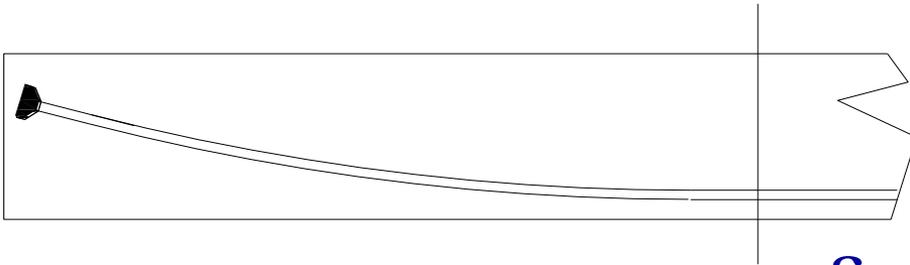
Importanza della linearità
della risposta e dello
smorzamento



NB. Le frequenze dipendono dalla **radice quadrata** di EI e quindi sono meno sensibili delle deformate alle variazioni della rigidezza.

4 Interventi di ripristino

Precompressione interna

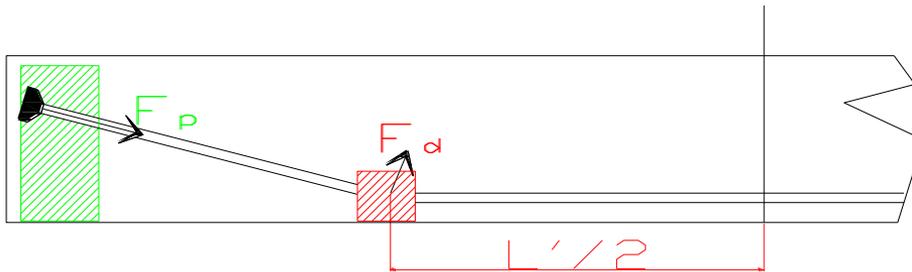


$$\varepsilon_a = \varepsilon_c$$

Nella sezione di mezzeria :

La deformazione dell'acciaio cresce proporzionalmente ai carichi

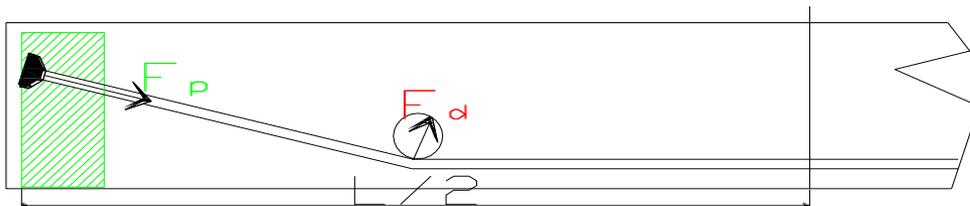
Prec esterna con cavi bloccati nei deviatori



$$\varepsilon_a = \Delta L'/L'$$

La deformazione dell'acciaio è quella che corrisponde all'allungamento tra i due punti fissi

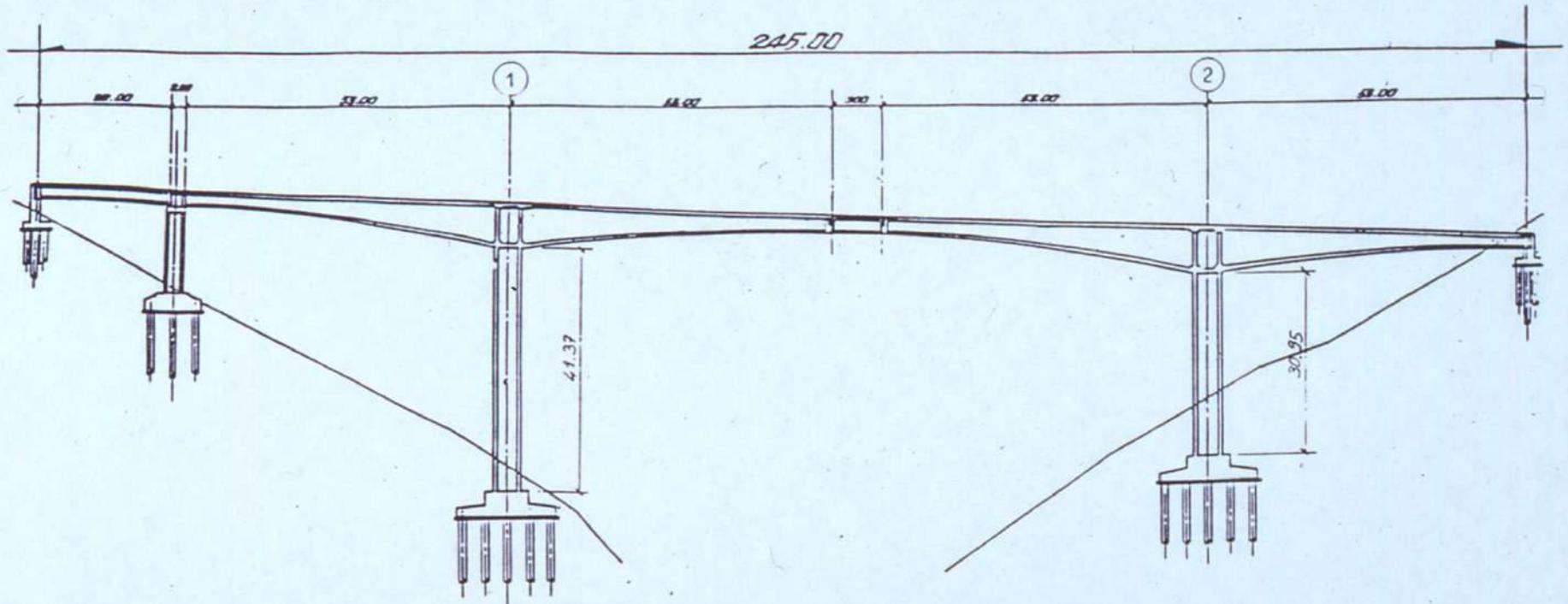
Prec esterna con cavi scorrevoli nei deviatori



$$\varepsilon_a = \Delta L/L$$

La deformazione dell'acciaio è quella che corrisponde all'allungamento tra le testate di ancoraggio.

PROSPETTO LONGITUDINALE

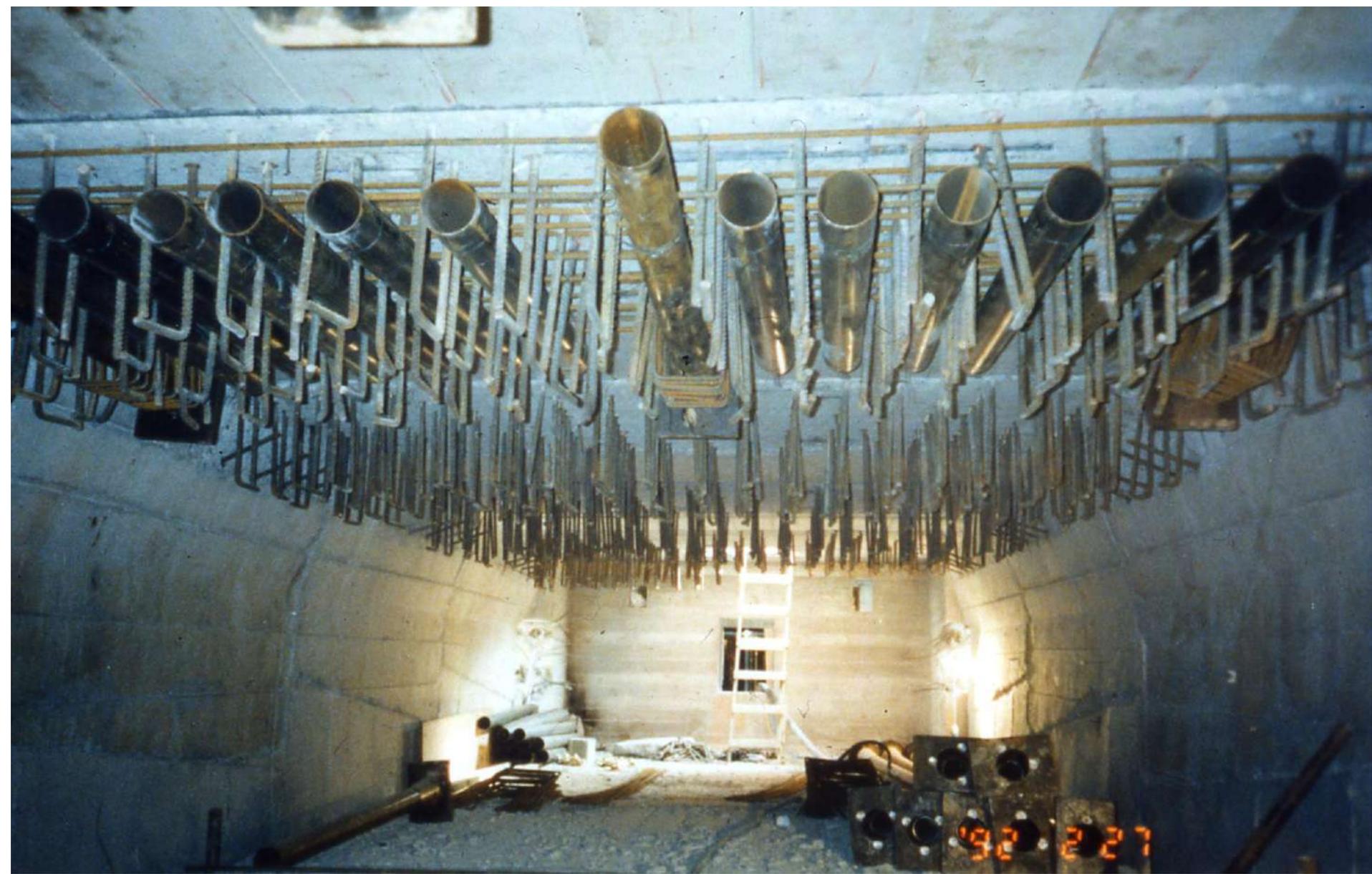


VIA DOTTO "RUIZ"













VIADOTTO STUPINO

A3 Salerno R:Calabria

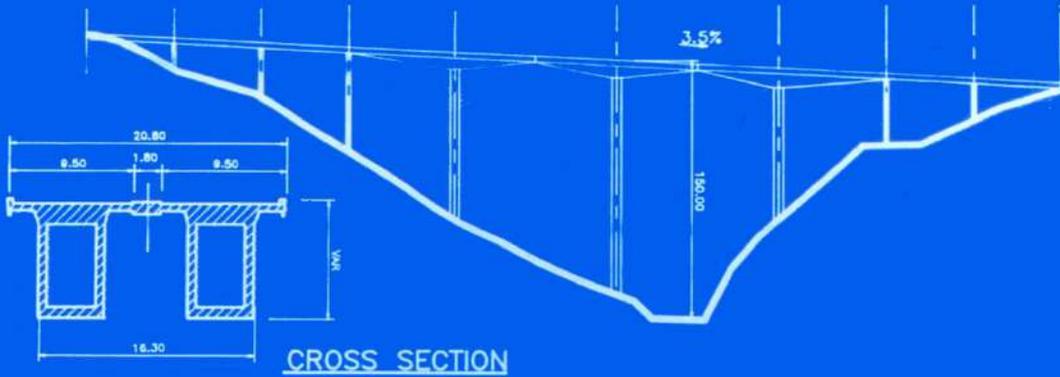
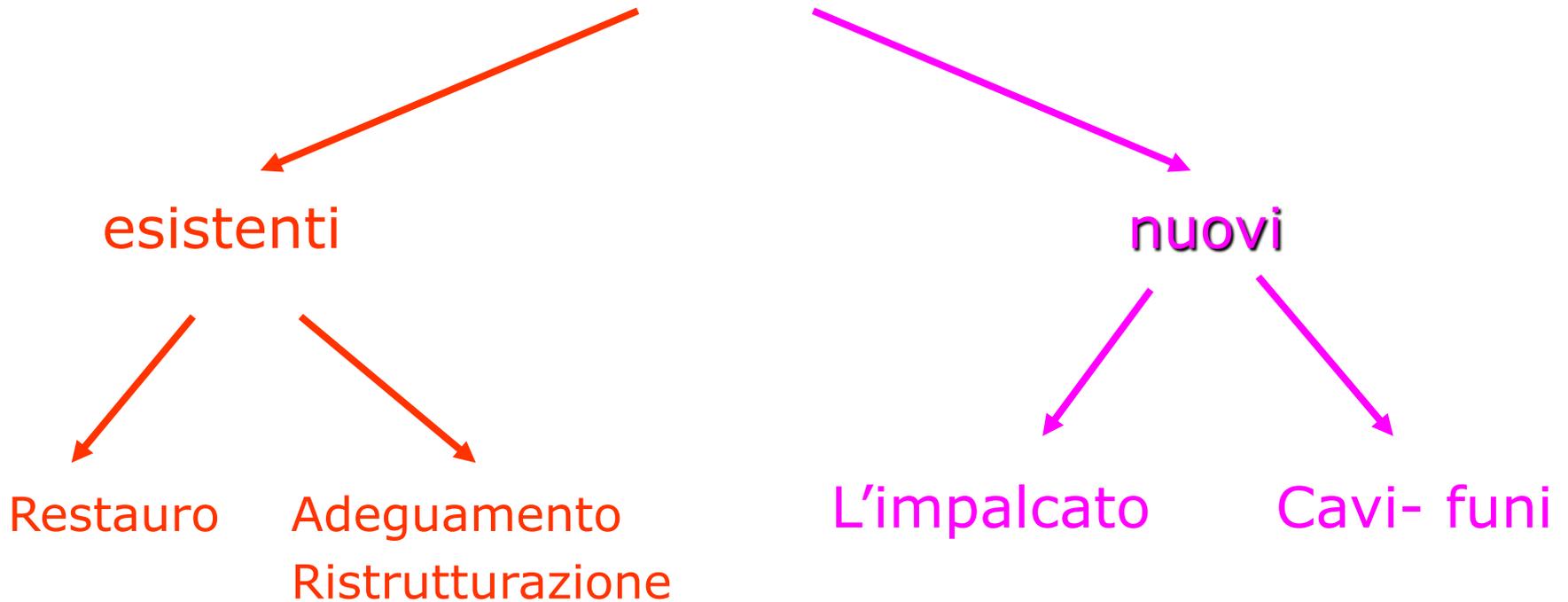


Fig.17 General scheme of Stupino viaduct



L'uso dei materiali compositi nel campo dei ponti



Gli interventi più frequenti sull'esistente

- Rinforzo delle armature delle solette (spesso richiesto dalla sostituzione dei sicurvia)
- Rinforzo di travi (anche in ferro) con nastri di CFRP e/o eventuale aggiunta di precompressione esterna
- Confinamento delle armature delle pile (spesso richiesto dalla nuova classificazione sismica del sito)
- Rinforzo delle armature delle pile

Difficoltà dovute alla peculiarità dei ponti

- Resistenza delle Amministrazioni ad imporre limitazioni al traffico
- Elevate temperature dei conglomerati bituminosi
- **Sezione scatolare (e spesso di forma allungata) delle pile**
- Criticità della sezione di incastro al plinto delle pile

IL CONFINAMENTO CON MATERIALI FIBRORINFORZATI (FRP)

NASTRI UNIDIREZIONALI DI POLIMERI FIBRO-RINFORZATI CON CARBONIO (CFRP)

COMPONENTI	E (GPa)	Fu (MPa)	DeF.Ult. (%)
Carbonio	240-400	5000-2500	1-4
Matrice	3-3,3	70-100	3-5
Eller	/	/	/
COMPOSITO ^o	70-120	1500-750	2,4-5

^o Per 30% di C

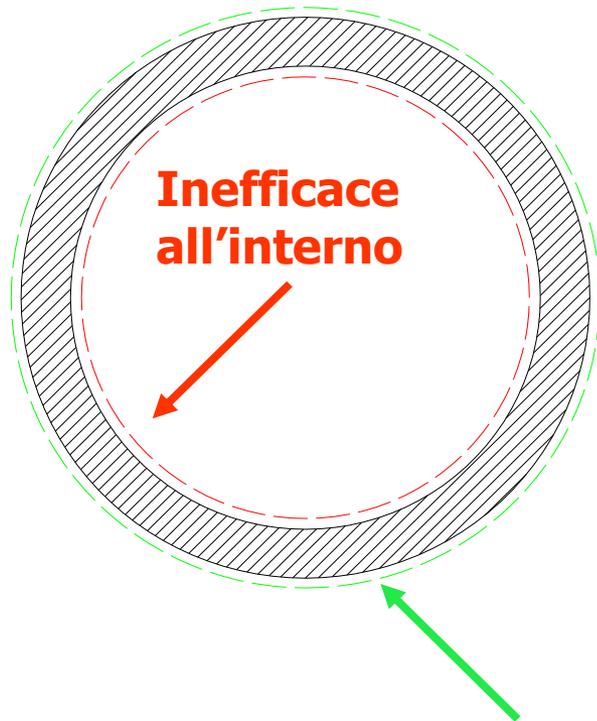
$$E, F_u = \%C \times E_c + \%M \times E_m \cong \%C \times E_c$$

ATTENZIONE!!!! Nella direzione ortogonale alla tessitura E ed fu sono quelli della matrice, cioè praticamente nulli

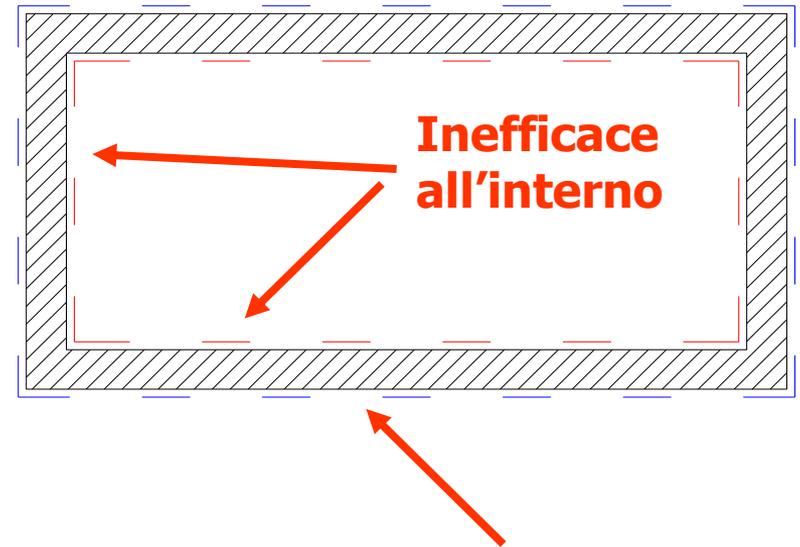
Un caso frequente di danneggiamento: l'urto sui cavalcavia



Difficoltà di confinamento delle pile scatolari in cemento armato

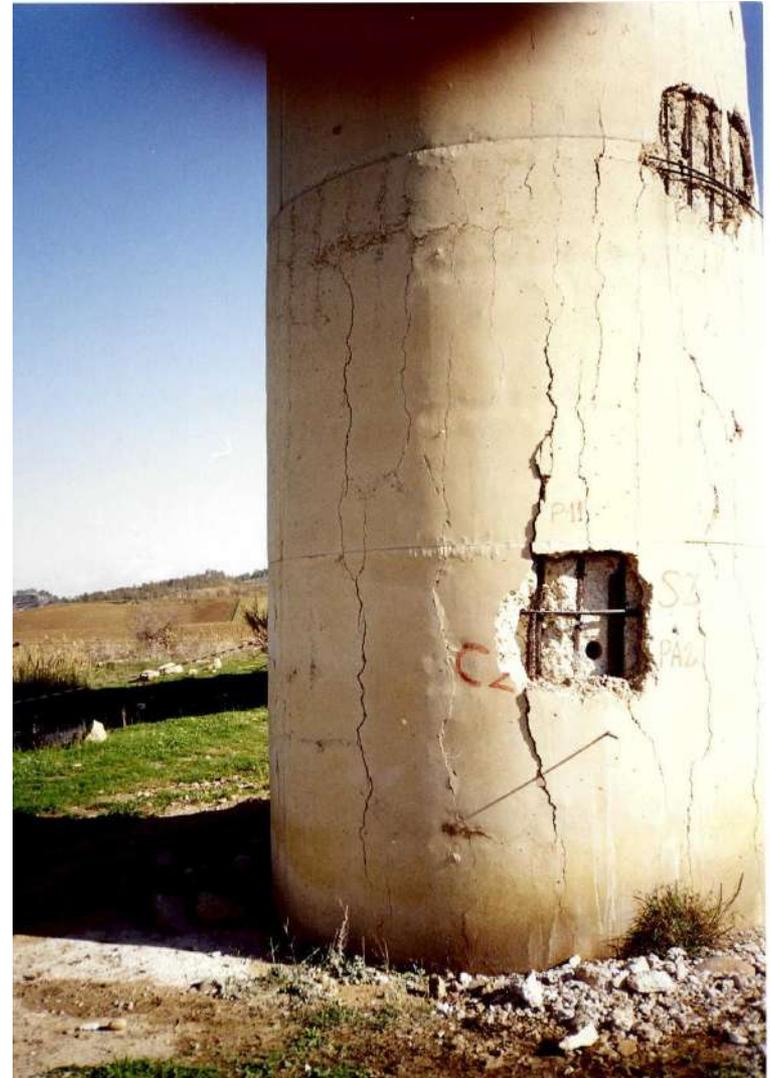


**Efficace
all'esterno**



**Poco efficace nella
parte centrale**

Riparazione delle pile del viadotto Salso



Riparazione delle pile del viadotto Salso

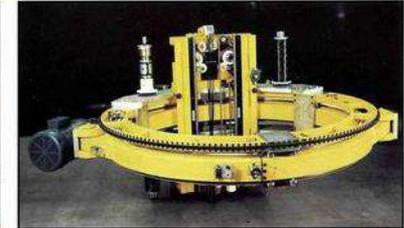
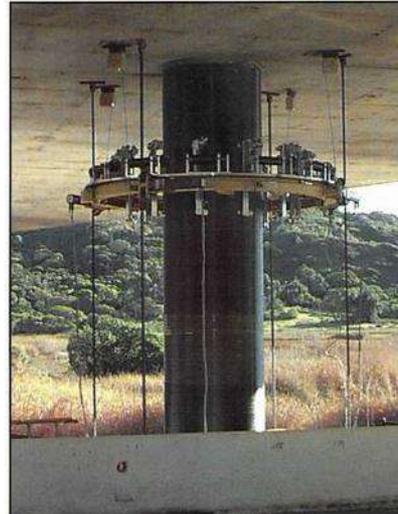


Riparazione delle pile del viadotto Salso



IL CONFINAMENTO CON MATERIALI FIBRORINFORZATI (FRP)

Pilastri circolari



The XXsys Family of Automated Wrapping Machines:

Robo I™ Columns to 4' diameter (top)
Robo II™ Columns to 7' diameter (left)
Robo Jr.™ Columns to 30" diameter (above)

For more information, contact:

XXsys Technologies, Inc.
4619 Viewridge Avenue
San Diego, CA 92123
619-974-8200

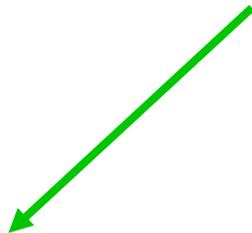


5 Adeguamento sismico

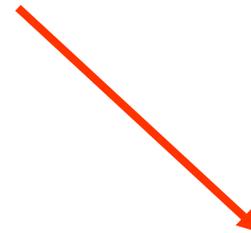


Adeguamento sismico di ponti esistenti

- Senza introdurre dispositivi speciali
- Introducendo dispositivi di vincolo antisismici



Lasciando inalterato lo schema statico iniziale



Modificando lo schema statico iniziale

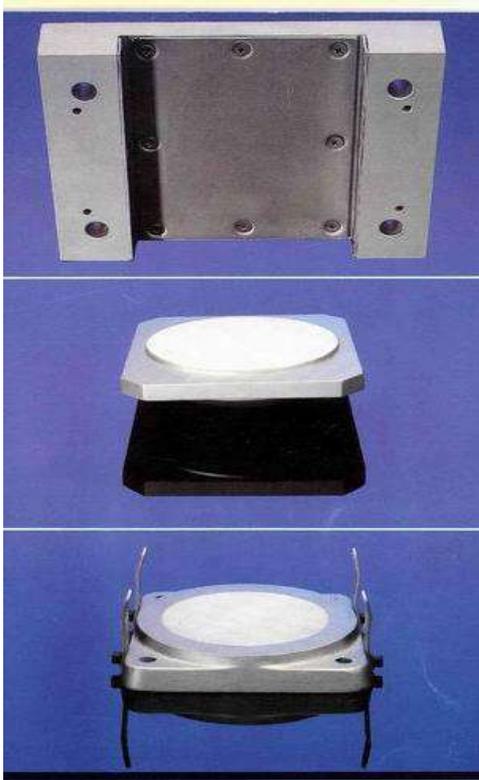
Senza introdurre dispositivi speciali

1. Sostituendo ed adeguando gli apparecchi di appoggio
2. Confinando le pile nelle zone delle potenziali cerniere plastiche
3. Aumentando la sezione resistente delle pile

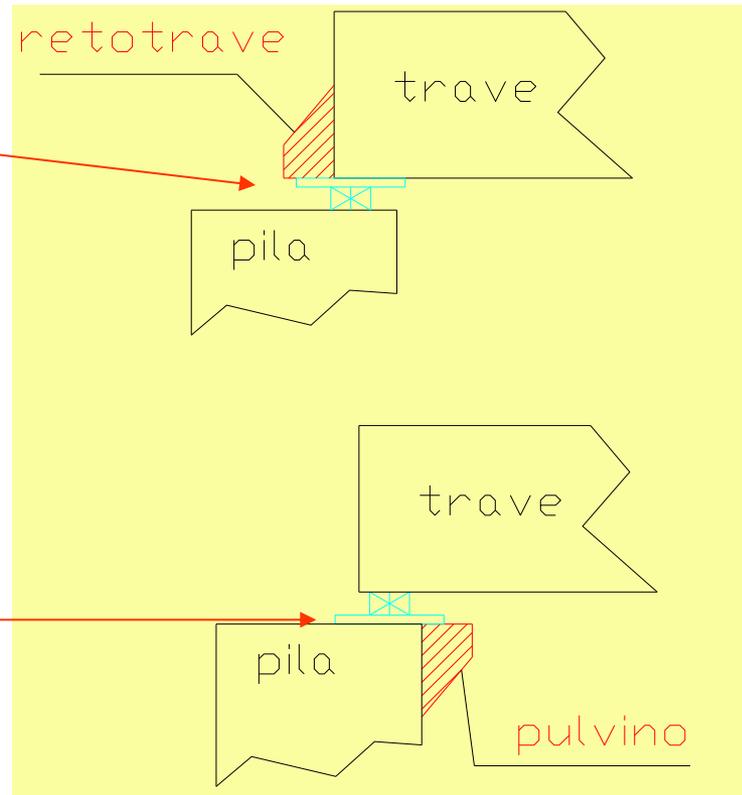
Gli appoggi

1. Gli apparecchi di appoggio vanno sempre sostituiti
2. Molto spesso è necessario allargare la sede su cui si poggia la slitta perché mancano i franchi necessari
3. Si possono affidare alcune funzioni a nuovi vincoli appositamente introdotti

L'allargamento della sede

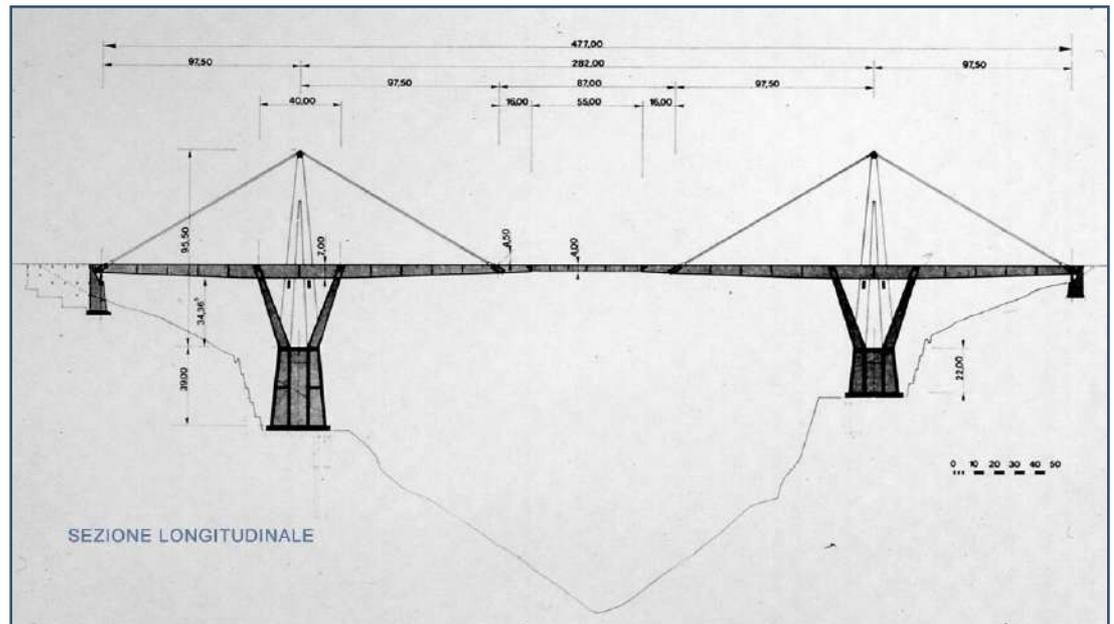
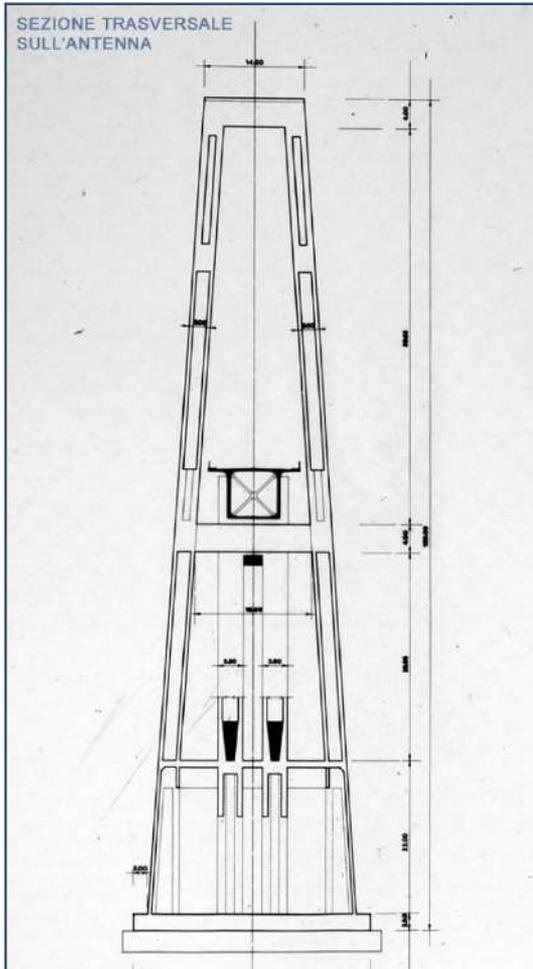


Slitta in alto

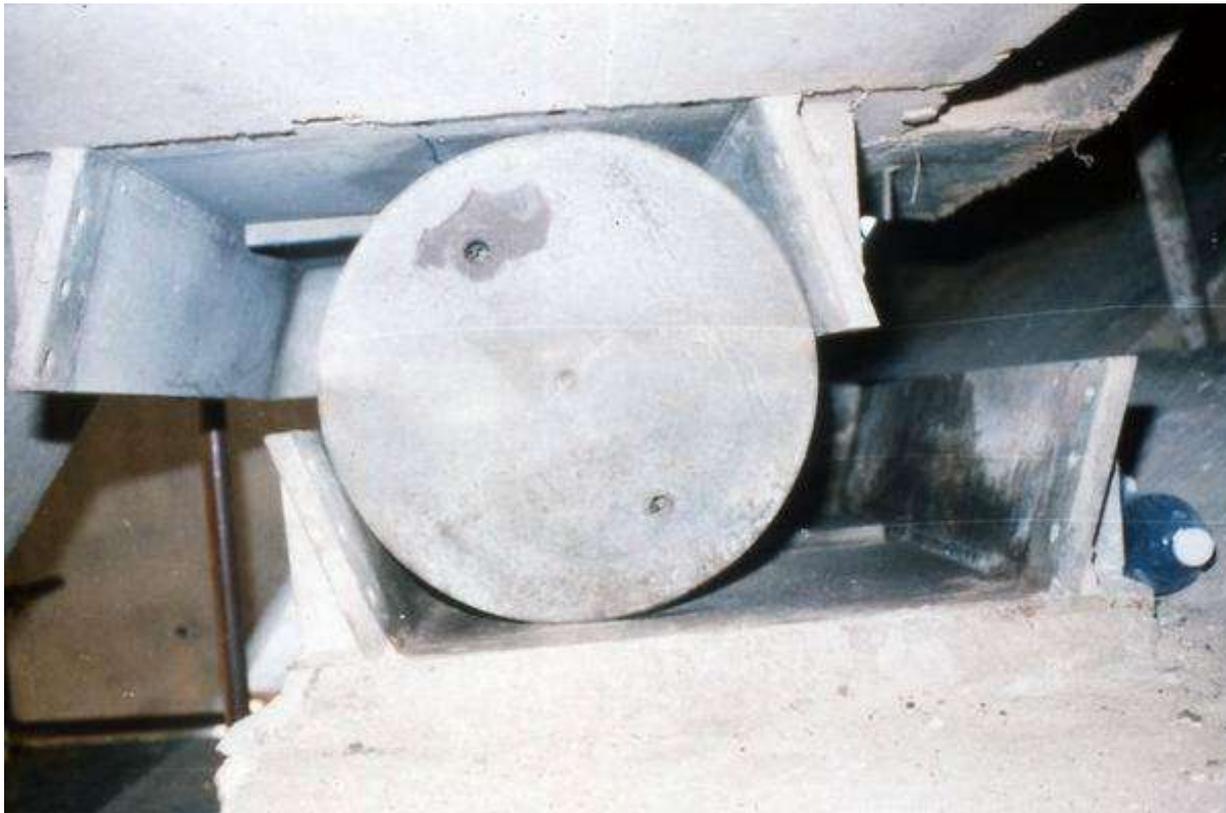


Slitta in basso

L'allargamento della sede: un caso limite. Il ponte sul wadi KUF



Il ponte sul wadi KUF (la situazione “ante”)



Il ponte sul wadi KUF (l'intervento)



AGGIUNTA DI VINCOLI TRASVERSALI



AGGIUNTA DI VINCOLI LONGITUDINALI



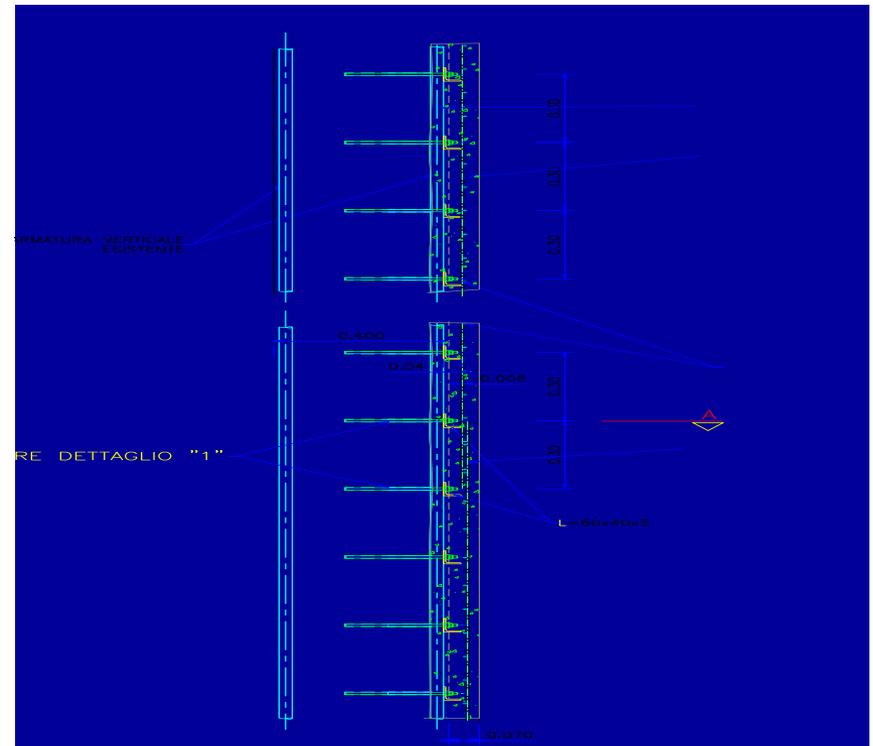
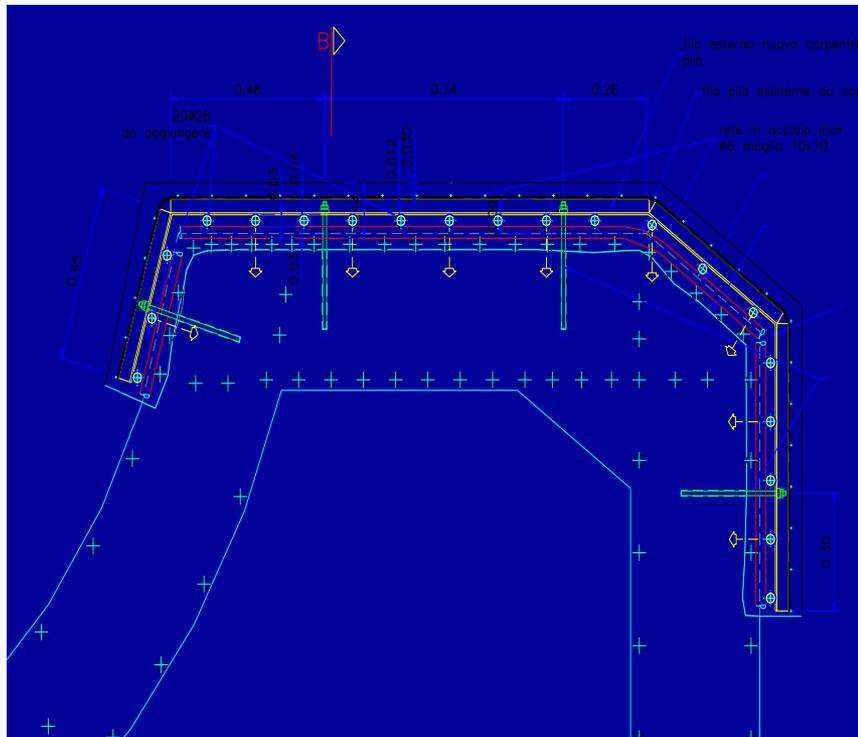
ESEMPIO DI CONFINAMENTO CON PROFILATI METALLICI



ESEMPIO DI CONFINAMENTO CON PROFILATI METALLICI



ESEMPIO DI CONFINAMENTO CON PROFILATI METALLICI



I DISPOSITIVI DI VINCOLO ANTISISMICI

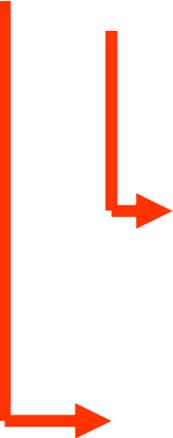
DISPOSITIVI ANTISISMICI (DA)

Scopo e requisiti generali

- 
- Mantenere in campo sostanzialmente elastico la sovrastruttura (impalcato) e le sottostrutture (pile e spalle) **che quindi possono essere progettate senza la GR e senza requisiti per duttilità**
 - Per il ruolo critico che svolgono i DA devono avere una **affidabilità superiore**, che si traduce in criteri di progettazione molto cautelativi

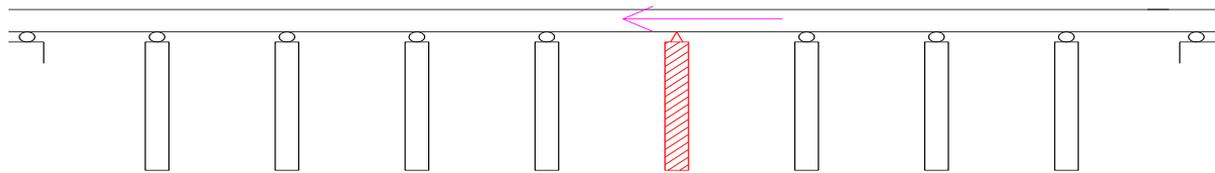
DISPOSITIVI ANTISISMICI

Modalità di funzionamento

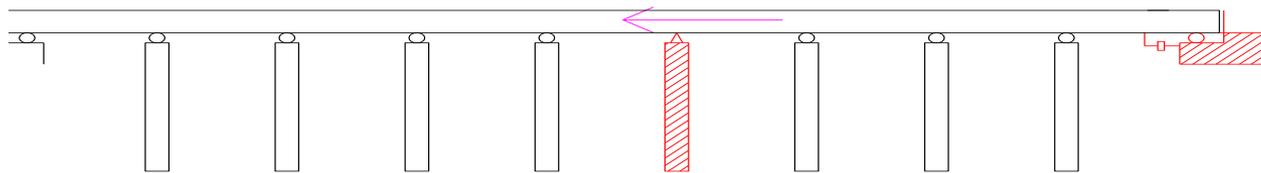
- 
- Alterare momentaneamente lo schema statico del ponte reagendo alle forze impulsive (STU)
e/o
 - Ridurre la risposta del ponte alle azioni sismiche (Alcune tipologie possono portare anche i carichi verticali, cioè assolvere anche alla funzione di apparecchi di appoggio)

Shock Transmission Units (STU) PERCHE' ?

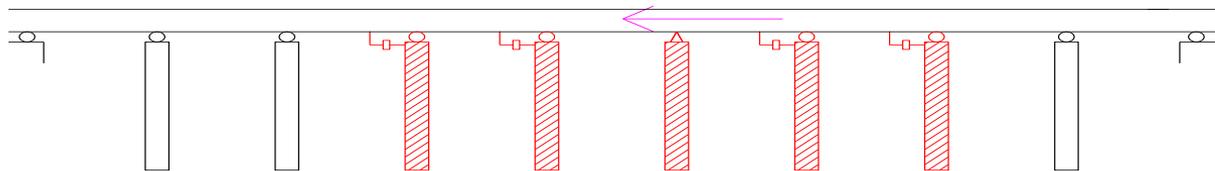
- Alterano momentaneamente lo schema statico del ponte reagendo alle forze impulsive ed impedendo gli spostamenti relativi che invece sono consentiti per movimenti lenti



Schema iniziale



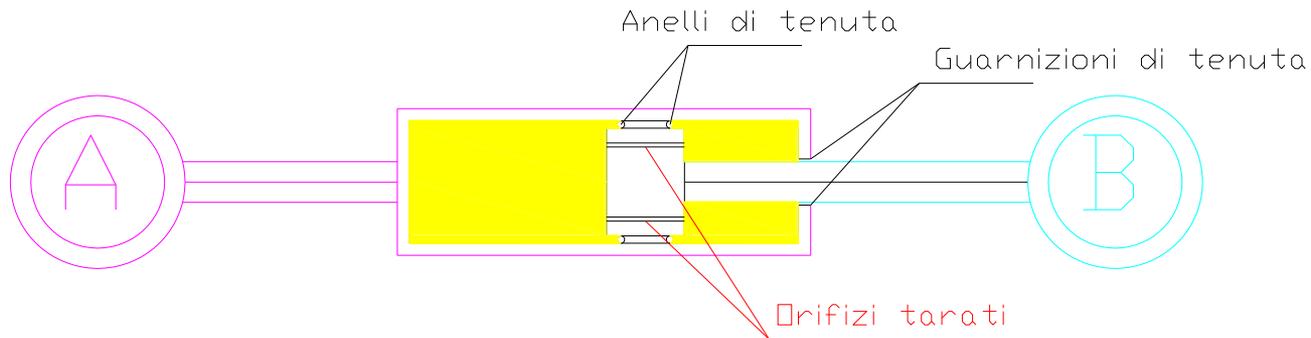
Tutta la F_{long} alla spalla



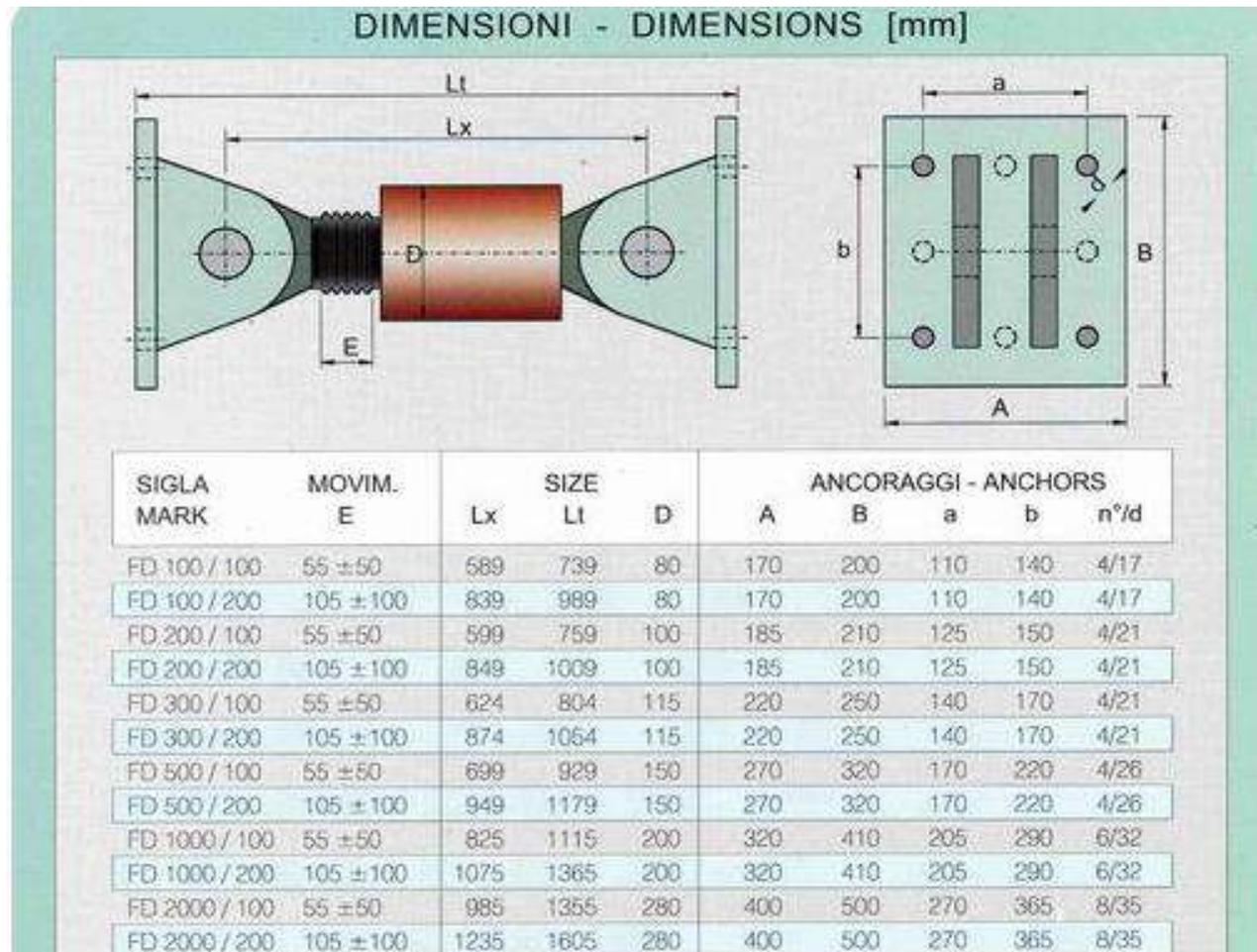
La F_{long} si ripartisce tra più pile

S T U : Funzionamento

- Si basano sulla presenza di un fluido viscoso che deve passare attraverso opportuni orifizi



Esempio di catalogo di STU reperibili in commercio (fino a 20,000 KN ed oltre)



S T U : PECULIARITA'

- Si hanno guarnizioni che devono garantire la tenuta nel tempo: *problemi di ispezione e manutenzione*
- E' necessario tenere conto *degli inevitabili giochi* che, nel caso di travate appoggiate, si cumulano

DISPOSITIVI CHE RIDUCONO LA RISPOSTA

- Aumentano T_0 (Dispositivi "Lineari"). In questo caso si riducono le forze ma **si aumentano gli spostamenti**
- Aumentano lo smorzamento. Tutti questi dispositivi riducono gli spostamenti; alcuni possono ridurre anche le forze.
- Una combinazione dei due (Consigliata da EC)

DISPOSITIVI CHE AUMENTANO T_0

(a comportamento essenzialmente lineare)

- Le analisi vanno condotte con lo spettro elastico. Non sono ammesse plasticizzazioni nelle strutture
- Si possono realizzare con gomme a basso smorzamento sollecitate a taglio, molle o dischi di acciaio etc.
- La rigidezza minima consentita è condizionata dagli spostamenti massimi accettati sotto le forze di esercizio

DISPOSITIVI CHE AUMENTANO LO SMORZAMENTO

- DNL "Dispositivi Non Lineari" (Elastoplastici) con comportamento **sostanzialmente indipendente dalla velocità**
- Dispositivi " Viscosi " il cui comportamento **dipende in modo marcato dalla velocità**
- (Dispositivi Elastomerici) NTC

D N L Curva teorica Forza-Spostamento

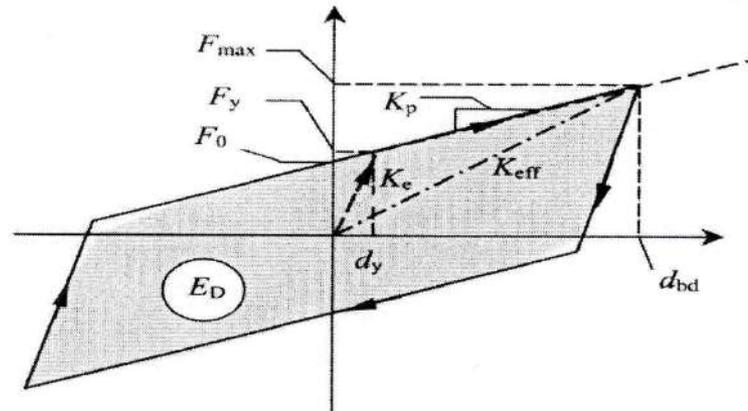


Figure 7.1: Bilinear approximation of hysteretic force-displacement behaviour

(2) The parameters of the bi-linear approximation are the following:

d_y = yield displacement;

d_{bd} = design displacement of the isolator corresponding to the design displacement d_{cd} of the isolating system;

E_D = dissipated energy per cycle at the design displacement d_{bd} , equal to the area enclosed by the actual hysteresis loop $= 4(F_y d_{bd} - F_{max} d_y)$;

F_y = yield force under monotonic loading;

F_0 = force at zero displacement under cyclic loading $= F_y - K_p d_y$;

F_{max} = maximum force, corresponding to the design displacement d_{bd} ;

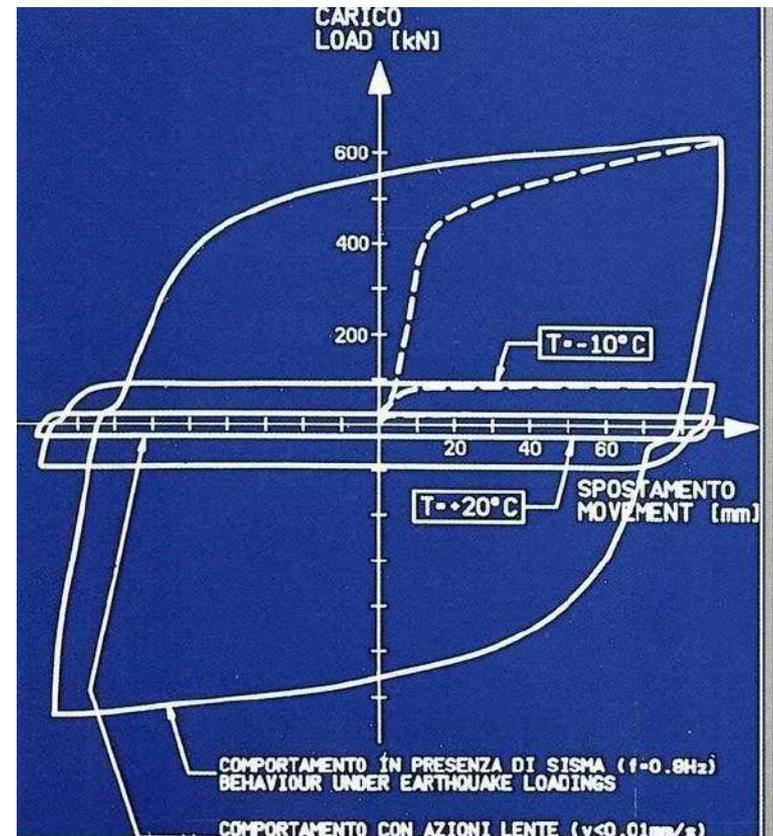
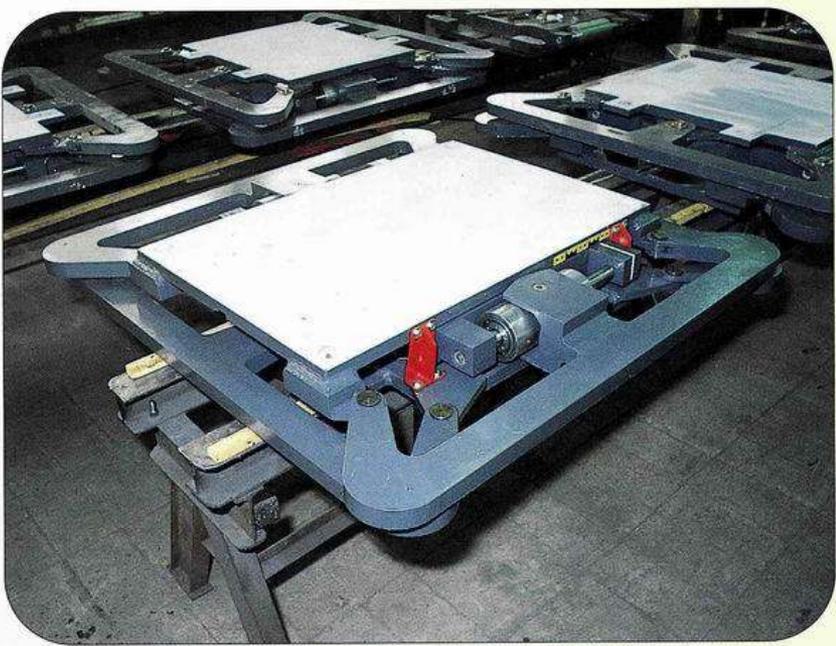
K_e = elastic stiffness at monotonic loading $= F_y/d_y$, equal also to the unloading stiffness in cyclic loading;

K_p = post-elastic (tangent) stiffness $= (F_{max} - F_y)/(d_{bd} - d_y)$.

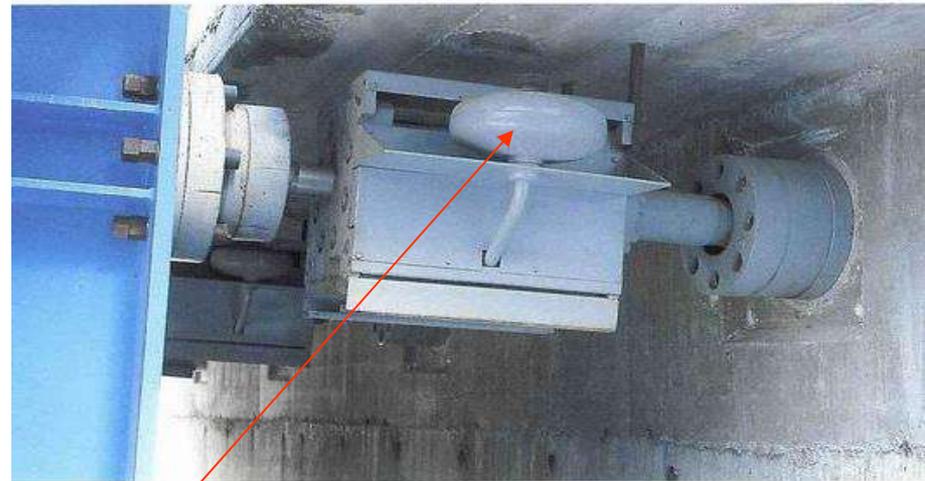
DNL Principi di funzionamento

- Dispositivi basati sulla plasticizzazione di un metallo particolarmente duttile. **Non richiedono manutenzione ma vanno sostituiti dopo un terremoto violento**
- Dispositivi simili agli STU con una valvola che si apre quando la forza raggiunge un valore fissato. **Non vanno sostituiti dopo un terremoto violento ma richiedono manutenzione e sono necessarie sofisticate camere di compensazione per annullare gli effetti delle variazioni termiche sulla pressione dell'olio**
- (Dispositivi Elastomerici con gomme ad alta dissipazione) NTC

Esempio di DNL a comportamento meccanico accoppiato ad STU (ALGA)



Esempi di DNL a comportamento meccanico (sotto) e oleodinamico (FIP)



. 8 - Oleodynamic damper with elasto-plastic behavior

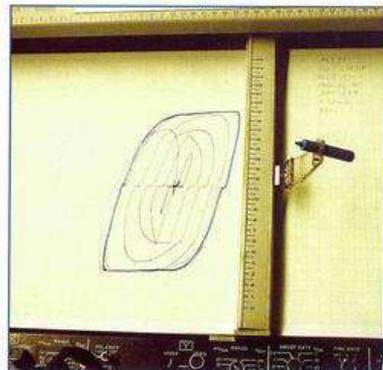
Si noti il serbatoio di espansione necessario per mantenere costante la pressione dell'olio al variare della temperatura



100 kN, 710 mm stroke Transpec® SHA damper.



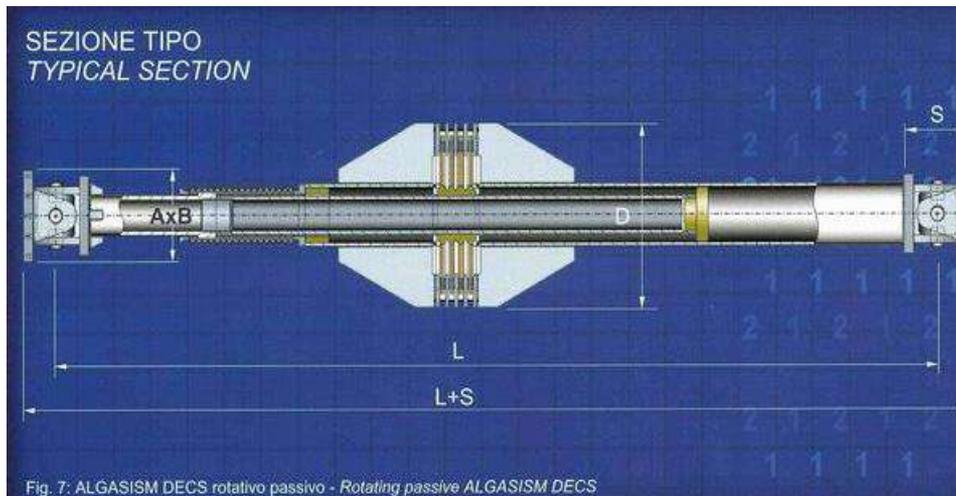
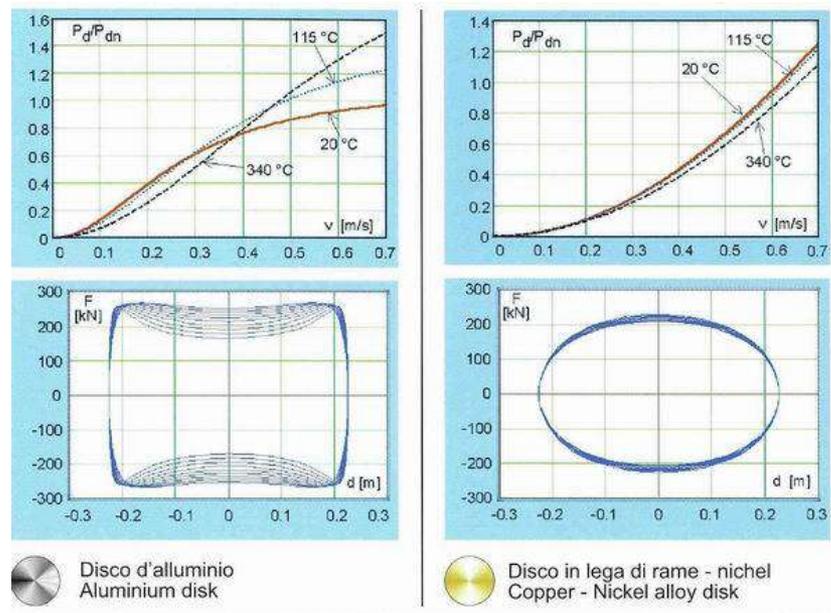
500 kN, 90 mm stroke Transpec® SHA damper.



Force-displacement diagram ($\pm 2\,500\text{ kN}$, $\pm 60\text{ mm}$).

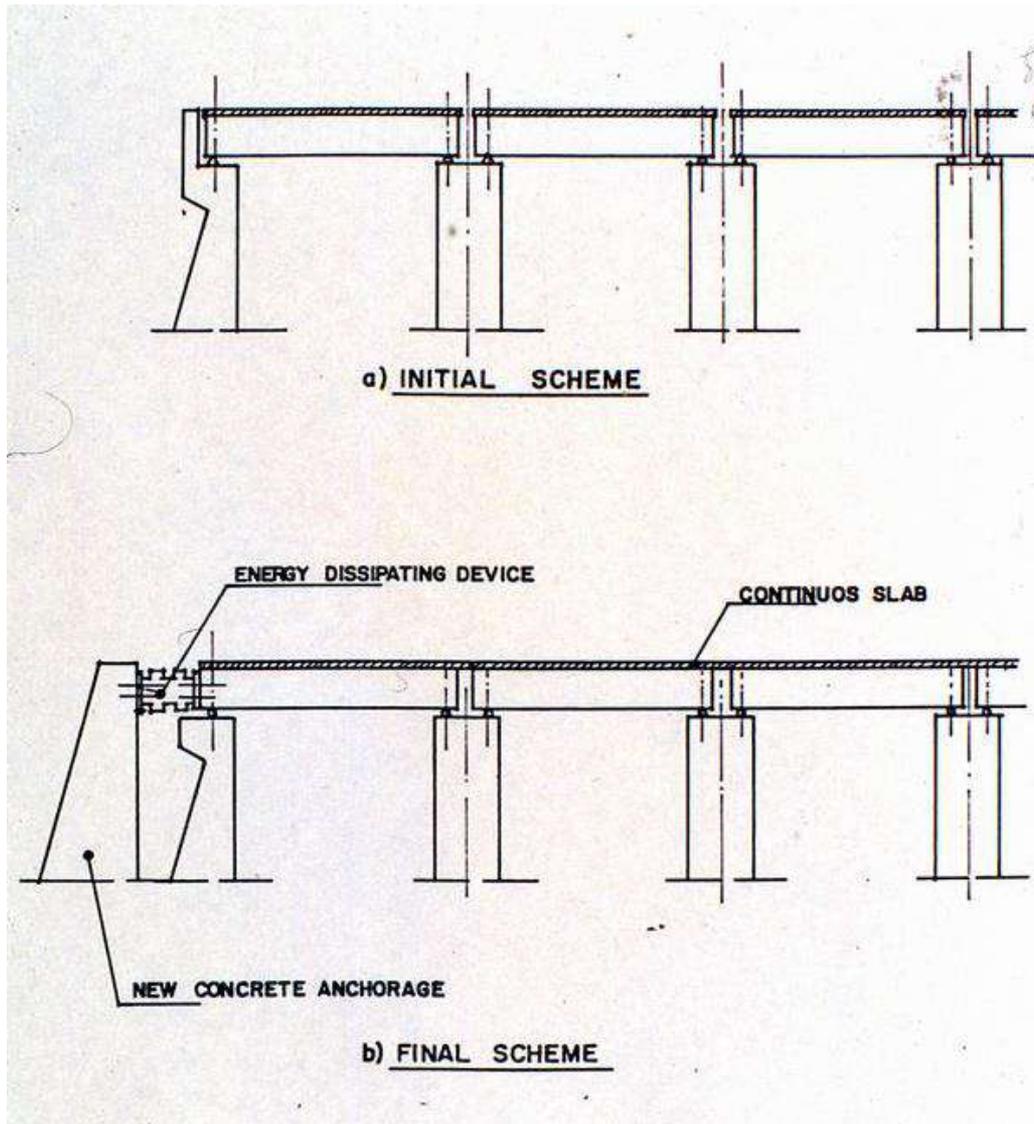
**Esempi di DNL a
comportamento
oleodinamico con grasso
siliconico non sensibile alle
temperature (JARRET)**

Dispositivi a dissipazione elettromagnetica, dipendente dalla velocità e quindi di tipo “viscoso” (ALGA)



E' necessario eseguire l'analisi dinamica non lineare nel dominio del tempo

Variazione dello schema statico con AGGIUNTA DI VINCOLI ANTISISMICI



Variazione dello schema statico con AGGIUNTA DI VINCOLI ANTISISMICI: Un esempio sulla A3 SA-RC



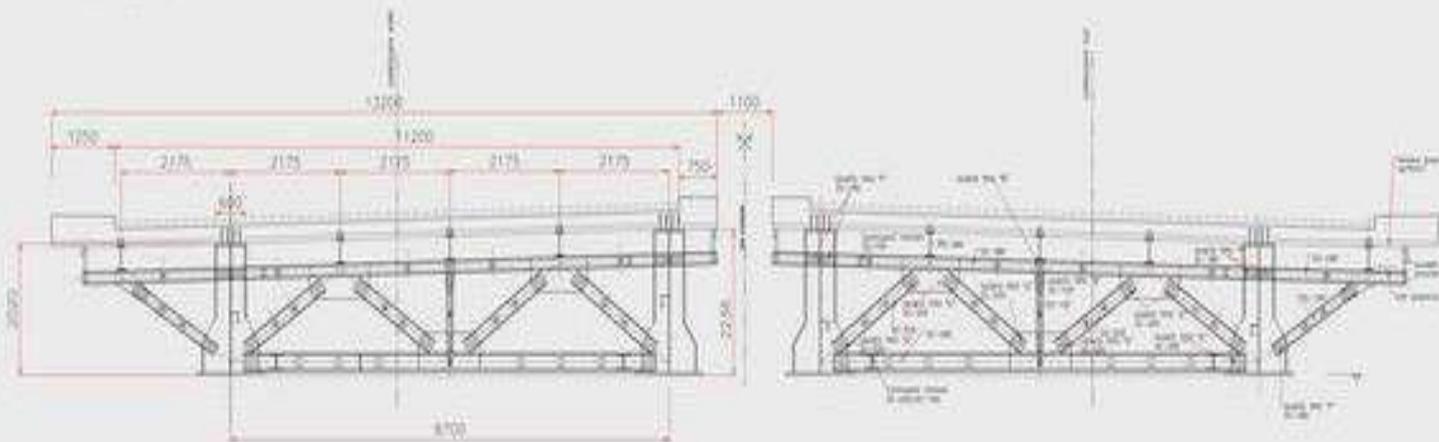
Variazione dello schema statico con AGGIUNTA DI VINCOLI ANTISISMICI: Un esempio sulla A3 SA-RC



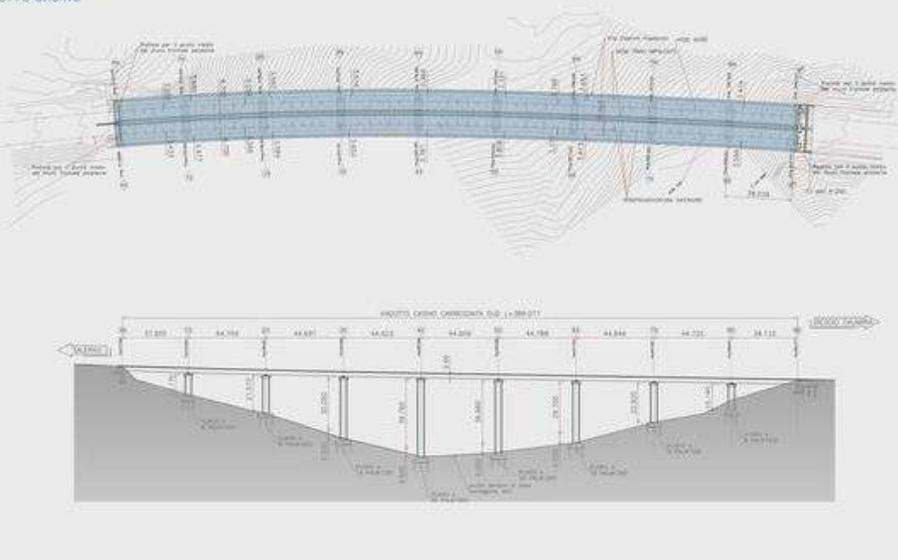
Variazione dello schema statico delle pile con sostituzione degli impalcati: il viadotto Casino ed altri sulla A3 SA-RC



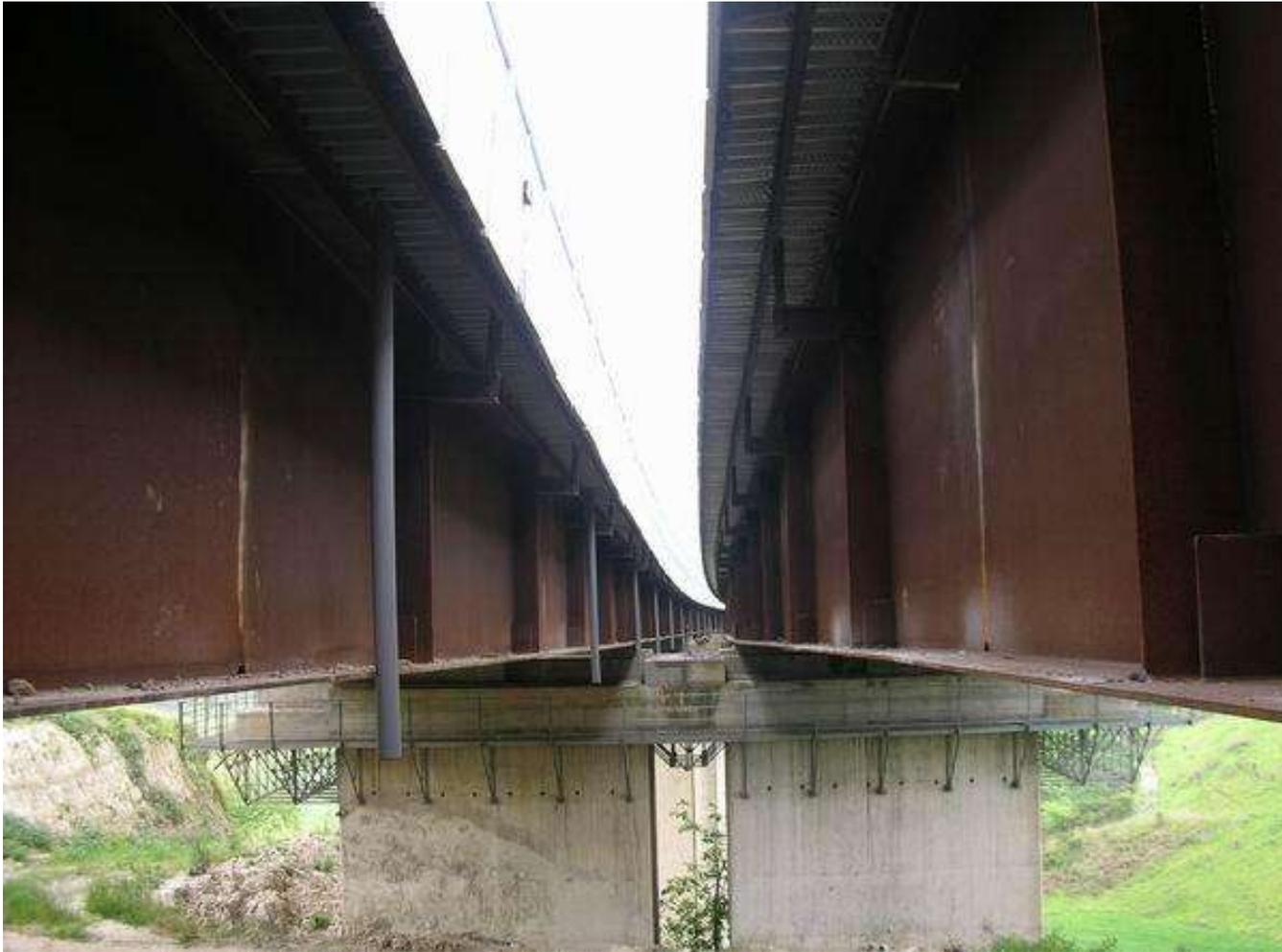
Variazione dello schema statico delle pile con sostituzione degli impalcati: il viadotto Casino ed altri sulla A3 SA-RC



IMETRIA E PROFILO
DOTTO CASINO



Variazione dello schema statico delle pile con sostituzione degli impalcati: il viadotto Casino ed altri sulla A3 SA-RC



I ritegni elastoplastici sulle spalle



La grande corsa degli apparecchi di appoggio



I ritegni elastici trasversali sulle pile



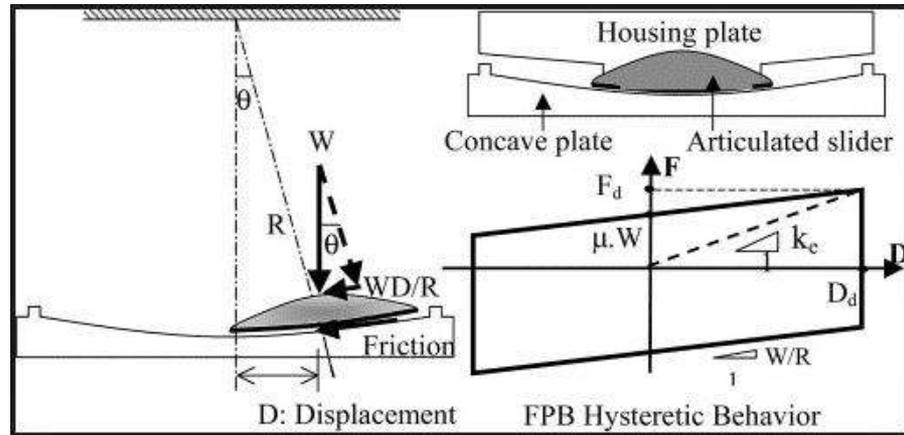
Ultima generazione di dispositivi antisismici

Friction Pendulum System (FPS)



Gli isolatori a scorrimento a superficie curva usano la forza di gravità come forza di ricentraggio; il principio di funzionamento è quello del pendolo. La dissipazione di energia è fornita dall'attrito della superficie di scorrimento principale. I parametri del legame costitutivo bilineare dipendono dal raggio di curvatura e dal coefficiente di attrito.

In produzione ne esistono a semplice (a) o doppia (b) superficie curva di scorrimento; (Negli USA anche con 3 superfici di curvatura)



Il materiale di scorrimento usato un polietilene ad altissimo peso molecolare (*Ultra-High Molecular Weight Poly-Ethylene – UHMWPE*) che opportunamente trattato permette di ottenere prestazioni elevate in termini di capacità di carico, di resistenza all'usura, di stabilità e di durabilità.

Il coefficiente d'attrito dinamico

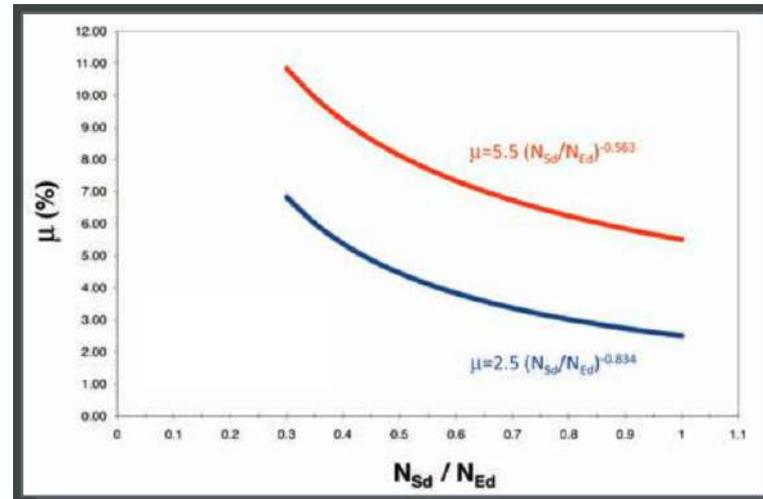
Coefficiente d'attrito dinamico μ (%)	Basso Attrito (<i>lf</i>)	Medio Attrito (<i>mf</i>)
	2.5	5.5

Il **coefficiente di attrito dinamico** è il parametro più importante che l'Ingegnere Strutturista deve conoscere per progettare una struttura isolata con *FPS* → Dipende da:

- **Velocità** – ma in modo poco significativo in ambito civile
- **Pressione di contatto** – diminuisce all'aumentare del carico

Grafico sperimentale che mostra la dipendenza che il carico verticale applicato ha sull'attrito dinamico, per le due classi in produzione *lf* e *mf*

N_{Sd} = Carico verticale fase sismica
 N_{Ed} = Carico verticale di progetto



BENEVENTO.
Ponte LEBBROSO sulla via Appia.

