

Attività di formazione per i tecnici degli Enti Locali

Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

coordinatori Proff. Edoardo Cosenza e Mauro Dolce



Lezione 1

Le linee guida per i ponti esistenti

Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

Le linee guida per i ponti esistenti - Tipologie strutturali e analisi delle principali criticità

- L1a - Introduzione alle linee guida
- L1b - Ponti in cemento armato
- L1c - Ponti in cemento armato precompresso
- L1d - Ponti in muratura
- L2a - Ponti in acciaio e composti acciaio-calcestruzzo
- L2b - Pile e spalle
- L2c - Selle Gerber
- L2d - Dispositivi di appoggio
- L2e - Introduzione alle schede difettologiche

La valutazione della classe di attenzione strutturale-fondazionale - scenari di casi studio. Ispezioni speciali e indagini in situ

- L3a - Ponti in cemento armato
- L3b - Ponti in cemento armato precompresso
- L3c - Ponti ad arco in muratura
- L4a - Ponti in acciaio e ponti composti acciaio-calcestruzzo
- L4b - Ispezioni speciali e indagini in situ

Il monitoraggio nella sicurezza delle infrastrutture e la digitalizzazione

- L5a - Applicazione di sistemi di monitoraggio
- L5b - Gestione delle informazioni e modelli informativi digitali

Esercitazione

- L6 - Esempi di compilazione in ambiente virtuale di schede di ispezione

Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

Le linee guida per i ponti esistenti - Tipologie strutturali e analisi delle principali criticità

L1a - Introduzione alle linee guida

- L1b - Ponti in cemento armato
- L1c - Ponti in cemento armato precompresso
- L1d - Ponti in muratura
- L2a - Ponti in acciaio e composti acciaio-calcestruzzo
- L2b - Pile e spalle
- L2c - Selle Gerber
- L2d - Dispositivi di appoggio
- L2e - Introduzione alle schede difettologiche

La valutazione della classe di attenzione strutturale-fondazionale - scenari di casi studio. Ispezioni speciali e indagini in situ

- L3a - Ponti in cemento armato
- L3b - Ponti in cemento armato precompresso
- L3c - Ponti ad arco in muratura
- L4a - Ponti in acciaio e ponti composti acciaio-calcestruzzo
- L4b - Ispezioni speciali e indagini in situ

Il monitoraggio nella sicurezza delle infrastrutture e la digitalizzazione

- L5a - Applicazione di sistemi di monitoraggio
- L5b - Gestione delle informazioni e modelli informativi digitali

Esercitazione

- L6 - Esempi di compilazione in ambiente virtuale di schede di ispezione

La Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e Strutturale (ReLUIS), è costituita come Consorzio Interuniversitario con atto convenzionale sottoscritto il 17 aprile 2003

È Centro di Competenza del Dipartimento della Protezione Civile

Si propone come interlocutore scientifico dei vari Organi del Governo Nazionale, delle Regioni, Province, Comuni e di Istituti pubblici e privati.



Unità di Ricerca di
Università su tutto il
territorio nazionale

Rete di Laboratori per prove sperimentali in scala su tutto il territorio nazionale.

www.reluis.it



Strutture e infrastrutture sono soggette a diverse azioni che possono determinarne danni e mancato soddisfacimento delle prestazioni per cui sono state progettate. Di seguito alcuni esempi di crolli recenti in Italia:



2013 – Carasco (Liguria) nubifragio



2014 – Palermo-Agrigento (frana)



2014 – Sardegna (frana) 1 morto e 3 feriti



2016 - (Milano Lecco) 1 vittima e 4 feriti



2017 – A14 (Ancona sud) 2 vittime e 2 feriti



2017 - Fossano (Cuneo) realizzato anni '90

Le strutture esistenti vanno quindi **controllate** intervenendo quando necessario.

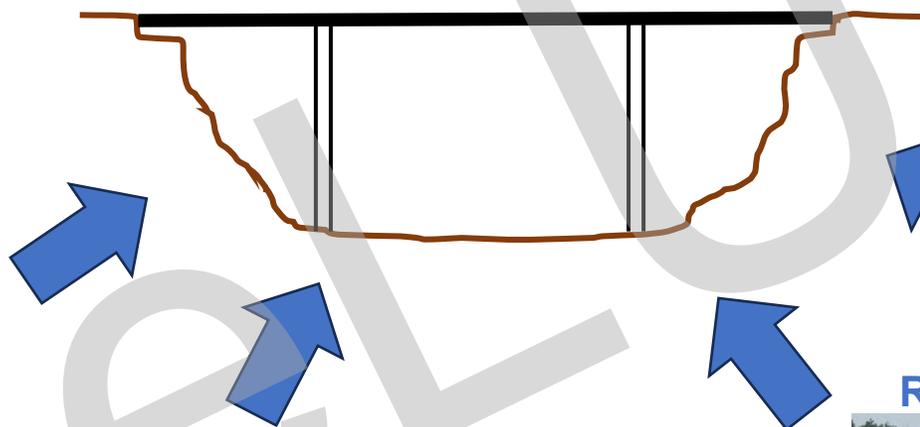
Ma come decidere da dove iniziare?



È utile introdurre il concetto di **rischio**.

In termini quantitativi, il rischio si può definire come la **probabilità di osservare, in un determinato intervallo di tempo, perdite** (es. economiche) che eccedono un determinato valore per effetto di specifiche azioni.

Rischio strutturale fondazionale



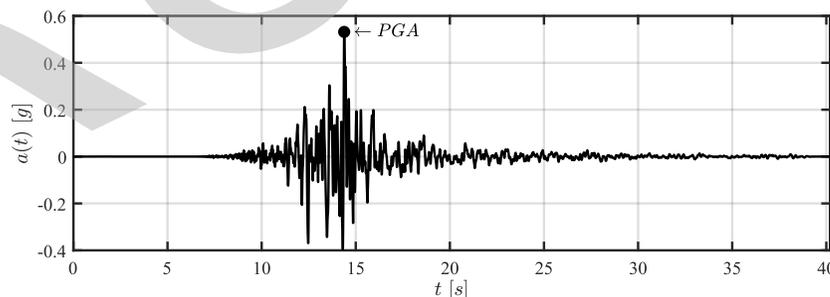
Rischio Frane



Rischio idraulico



Rischio sismico



Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

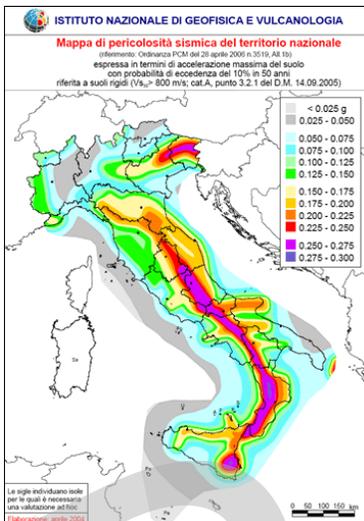
Lezione 1 - Le linee guida per i ponti esistenti

Introduzione al rischio

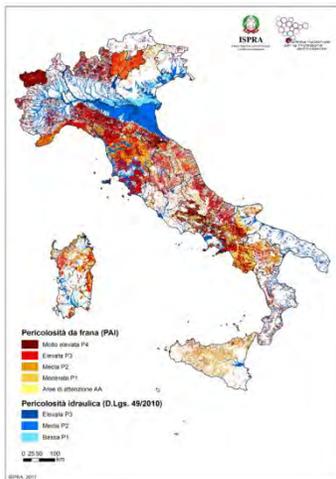
Pericolosità

Dipende dall'azione e quindi dal contesto in cui è collocata l'opera

Pericolosità sismica



Mappe pericolosità idraulica e frane



Vulnerabilità

Debolezze della struttura nei confronti del tipo di azione

La vulnerabilità è una caratteristica intrinseca della struttura che dipende dallo schema statico, dai materiali e dalla condizione di conservazione



Esposizione

Conseguenze dovute alla crisi della struttura in seguito all'azione: numero di vittime, costo dei danni. Dipende dalla destinazione d'uso e dall'importanza della costruzione durante il suo esercizio.

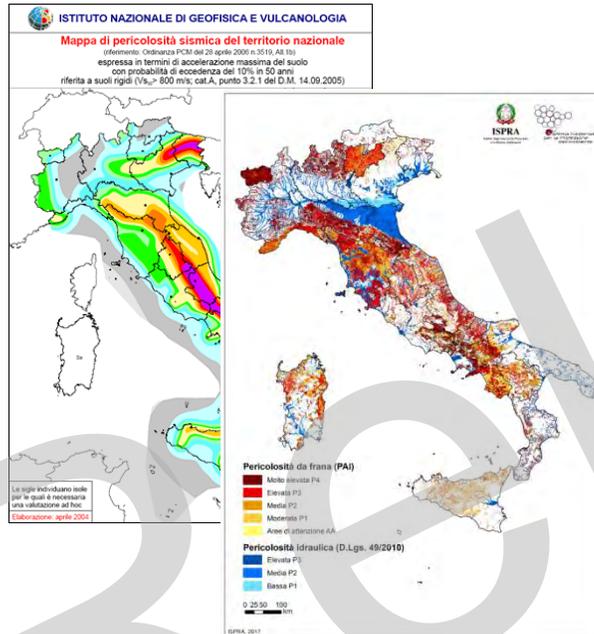


Tornando alla gestione delle strutture esistenti

Se le strutture di interesse sono tante e distribuite...



...le azioni a cui sono soggette variano significativamente da un sito all'altro...



...le conseguenze di eventuali danni variano da struttura a struttura...

Classe di conseguenza	Descrizione
CC3	Conseguenze elevate per la perdita di vite umane, o economica, sociale o conseguenze ambientali molto grandi
CC2	Conseguenze medie per la perdita di vite umane, o economica, sociale o conseguenze ambientali considerevoli
CC1	Conseguenze basse per la perdita di vite umane, o economica, sociale o conseguenze ambientali piccole o trascurabili

(EC0)

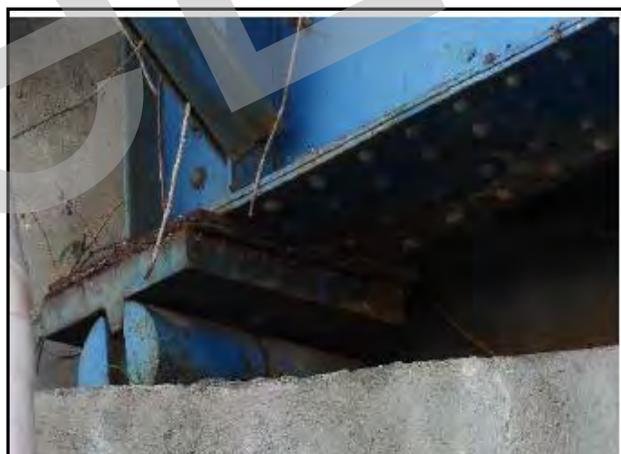
... i soldi e il tempo a disposizione sono limitati...



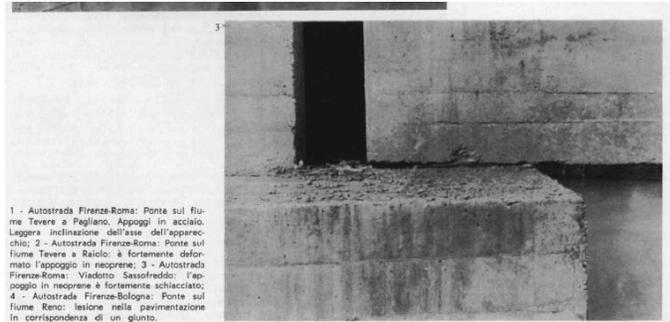
... gestire la sicurezza vuol dire ottimizzare tra affidabilità strutturale e economia. È quindi essenziale definire una **priorità di intervento**

L'approccio scientificamente più rigoroso consiste nel **calcolare il rischio** di ogni struttura e **intervenire prima su quelle a rischio più alto.**

Tuttavia, il patrimonio di strutture esistenti è **molto esteso** e spesso è affetto da **degrado significativo** anche per la carenza di manutenzione. Anche la sola stima del rischio per tutte le strutture richiederebbe un tempo eccessivo. Serve quindi un **approccio multi-livello** che consenta di identificare gli interventi più urgenti tramite valutazioni semplificate.



Osservazione dei difetti è stata sempre una strategia per effettuare una manutenzione efficace
Tutti i gestori delle infrastrutture hanno sviluppato le proprie procedure



Osservazioni e considerazioni
sulle strutture in c. a. p. per ponti autostradali

PROF. ING. GIUSEPPE RINALDI (*)

1965



2020 e 2022



È necessaria una metodologia uniforme per tutti gli enti gestori e l'analisi dei difetti non è sufficiente



Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibile
Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

LINEE GUIDA PER
LA CLASSIFICAZIONE E GESTIONE DEL RISCHIO,
LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA
ED IL MONITORAGGIO DEI PONTI ESISTENTI

Allegate al parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 54/2022,
espresso dall'Assemblea Generale in data 10.06.2022.

Approvate ad Aprile 2020

- ✓ DM 578 12/2020 per ANAS e concessionari autostradali
- ✓ DM 204 07/2022 per enti locali

Art. 1

«Sono adottate le **Linee Guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti**, di cui all'Allegato A al presente decreto, le quali, [...] assicurano l'omogeneità della classificazione e gestione del rischio, della valutazione della sicurezza e del monitoraggio dei ponti, viadotti, rilevati, cavalcavia e opere similari, esistenti [...].»



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

ANSFISMA
AGENZIA NAZIONALE PER LA SICUREZZA DELLE FERROVIE
E DELLE INFRASTRUTTURE STRADALI E AUTOSTRADALI

*Istruzioni Operative per
l'applicazione delle*

*LINEE GUIDA PER
LA CLASSIFICAZIONE E GESTIONE DEL
RISCHIO, LA VALUTAZIONE DELLA
SICUREZZA ED IL MONITORAGGIO
DEI PONTI ESISTENTI*

*previste dall'articolo 1, comma 3, del Decreto del Ministro delle Infrastrutture e della
Mobilità sostenibile 1 luglio 2022, pubblicato nella GURI del 23.08.2022*

Allegate al par...
espre...

Settembre 2022



ANSFISMA
Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie
e delle Infrastrutture Stradali e Autostradali

Mission

[...] Coinvolgendo attivamente gli operatori e i gestori delle infrastrutture, primi soggetti responsabili della sicurezza, l'Agenzia punta ad accrescere la conoscenza dello stato della rete sul territorio e delle sue specificità, attraverso **un'azione di presidio, mappatura e supervisione delle infrastrutture che possa contare su metodologie snelle, moderne ed efficaci.** [...]

Numerose informazioni complementari utili alla corretta applicazione delle Linee Guida sono contenute nelle Istruzioni operative per l'applicazione delle Linee Guida.

Tempi di attuazione (Cap. 8 – Linee guida)

Tabella 8.1– Tempi di attuazione

	Livello 0 - Censimento (§ 2)	Livello 2 - Analisi rischi rilevanti e attribuzione classe di attenzione (§ 4)
Concessionarie autostradali	-----	entro il 30.06.2023
ANAS S.p.A.	entro il 31.12.2022	entro il 31.12.2023
Regioni, Province, Città Metropolitane	entro il 31.12.2023	entro il 30.06.2025
Comuni con resid. > 15000	entro il 30.06.2024	entro il 30.06.2026
Comuni con resid. ≤ 15000	entro il 30.06.2024	entro il 31.12.2026

La “**sperimentazione**” delle Linee Guida per i ponti esistenti è intesa come una fase importante per consolidare le procedure come accade per tutte le normative e Linee Guida che periodicamente sono revisionate in base agli avanzamenti della ricerca, delle tecnologie, delle normative nazionali e internazionali, dell’analisi dei risultati ottenuti dall’applicazione

Gli approcci innovativi hanno bisogno di un periodo di sperimentazione delle indicazioni per verificarne l’applicabilità, l’efficienza e hanno bisogno di studi specifici per ottenerne una ottimizzazione

Nel caso delle Linee Guida ponti tale fase di analisi è stata codificata ed è stato individuato un periodo più breve rispetto a quanto accade per altre normative, vista l’importanza delle infrastrutture e l’elevato numero di opere a cui devono essere applicate

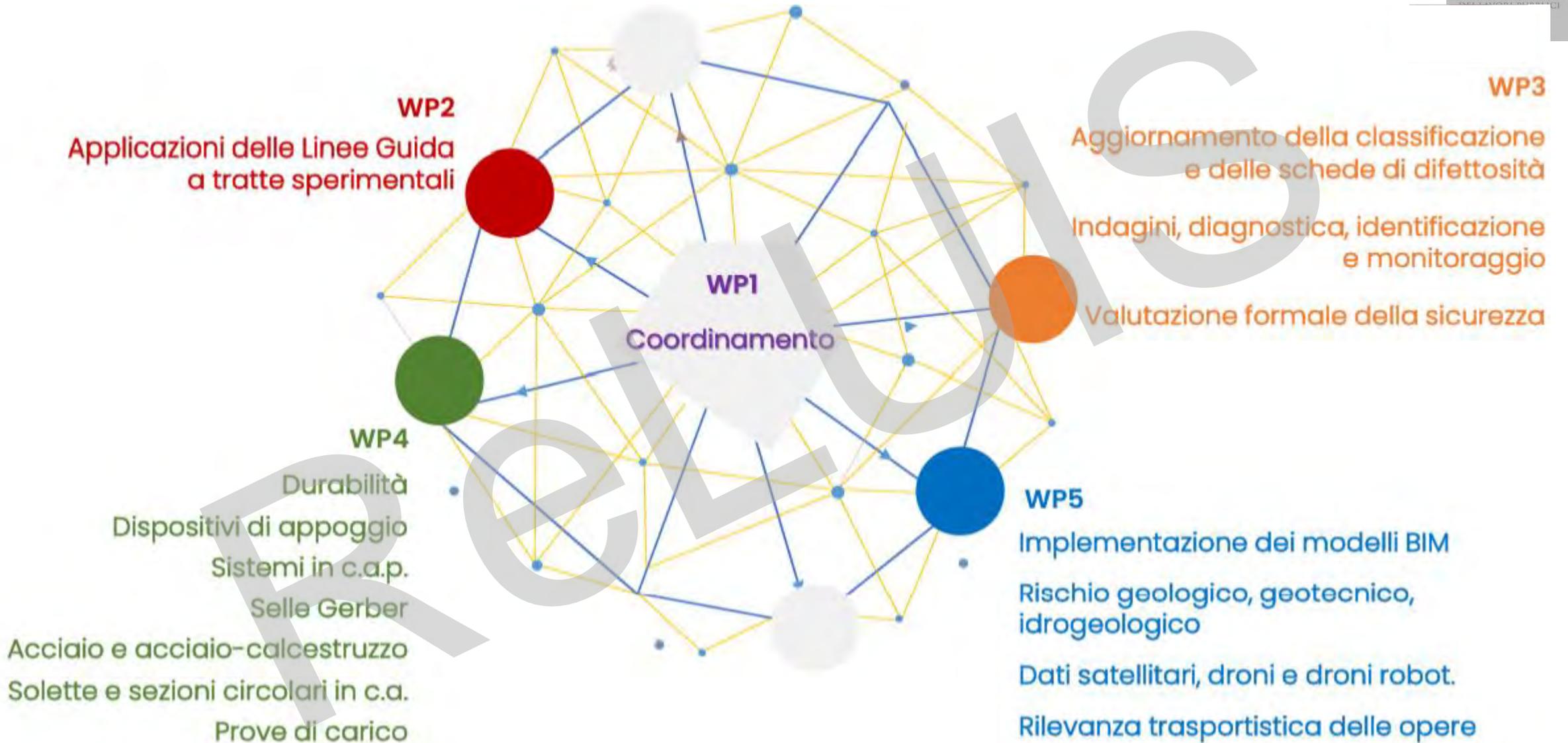
Il consorzio Reluis è il soggetto attuatore identificato dal CSLP per le attività relative alla sperimentazione delle Linee Guida e alla formazione degli operatori.

Attività di ReLUIS

Analisi dei risultati dell’applicazione delle Linee Guida

Formazione degli operatori

Ricerca scientifica in merito alla valutazione della sicurezza strutturale, ai possibili interventi e al monitoraggio dei ponti esistenti



La sperimentazione ha richiesto

- 1- una grande quantità di dati disponibili (raccolta dati su più di 600 ponti collocati in zone a diversa pericolosità, diversa esposizione e diversa vulnerabilità, per ciascuno dei rischi considerati) - **50 opere di Enti locali tra più di 200 candidature sono entrate nella sperimentazione nazionale**
- 2- esperti di diverse discipline (ReLuis ha attivato la collaborazione tra esperti di strutture, di ingegneria sismica, di rischio idraulico, di rischio frane)
- 3- metodi di analisi adeguati considerando anche la variabilità nel tempo della vulnerabilità (ad es. degrado) e dell'esposizione
Si verificherà la metodologia con **approccio multi-qualitativo** delle Linee Guida che viene **finalizzata alla classificazione**

**Un metodo uniforme ma semi-qualitativo applicato da professionisti diversi non garantisce facilmente un risultato omogeneo
È importante avere un feedback dell'applicazione su un numero ampio di casi**

Formazione

Modulo	Titolo		data/durata
L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti (24 + 4 ore) Marzo – Aprile 2024	1	Le linee guida per i ponti esistenti	4 ore in presenza per data e orario vedere calendario sede
	2	Le linee guida per i ponti esistenti	
	3	La CdA strutturale-fondazionale: casi studio (1)	
	4	La CdA strutturale-fondazionale: casi studio (2) Le ispezioni speciali e le indagini in situ	
	5	Il monitoraggio nella sicurezza delle infrastrutture e la digitalizzazione	
	6	Esercitazione	
	7	L'aggiornamento normativo per i ponti esistenti: il punto di vista di istituzioni, enti locali, gestori e concessionari	4 ore in asincrono
Valutazione accurata della sicurezza strutturale dei ponti esistenti (38-44 ore) Giugno - Luglio 2024	1	Durabilità degli elementi strutturali e corrosione	4-6 ore
	2	Dispositivi di appoggio	4 ore
	3	Sistemi in c.a.p.	4-6 ore
	4	Selle Gerber	4 ore
	5	Strutture in acciaio e acciaio-calcestruzzo	4-6 ore
	6	Solette da impalcato e sezioni circolari in c.a.	4 ore
	7	Prove di carico	2 ore
	8	Il monitoraggio delle infrastrutture	4 ore
	9	Valutazione formale della sicurezza	4 ore
	10	Ponti in muratura	4 ore
Rischi naturali e interventi di mitigazione per la sicurezza dei ponti (28 ore) Settembre - Ottobre 2024	1	Aspetti relativi alle azioni del sisma	6 ore
	2	Aspetti geotecnici	6 ore
	3	Aspetti idraulici	6 ore
	4	Aspetti geologici	6 ore
	5	Casi studio di crolli	4 ore
Modelli informativi digitali e tecnologie innovative (16 ore) Novembre - Dicembre 2024	1	Digitalizzazione delle informazioni e implementazione dei modelli BIM	8 ore
	2	Utilizzo di droni e droni robot	4 ore
	3	Dati satellitari per applicazione alle infrastrutture	4 ore

Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

Lezione 1 - Le linee guida per i ponti esistenti

Formazione - Modulo I

1 - Le linee guida per i ponti esistenti

- Introduzione alle linee guida e schede di difettosità
- Tipologie strutturali e analisi delle principali criticità (i)
 - Ponti in cemento armato
 - Ponti in cemento armato precompresso
 - Ponti in muratura

2 - Le linee guida per i ponti esistenti

- Tipologie strutturali e analisi delle principali criticità (ii)
- Ponti in acciaio e composti acciaio-calcestruzzo
 - Pile e spalle
 - Selle Gerber
 - Dispositivi di appoggio

Approccio metodologico per la valutazione della classe di attenzione

3 - La valutazione della classe di attenzione strutturale-fondazionale

Scenari di casi studio su

ponti in c.a., ponti in c.a.p., ponti ad arco in muratura

4 - La valutazione della classe di attenzione strutturale-fondazionale

Ispezioni speciali e indagini in situ

Scenari di casi studio su

ponti in acciaio e ponti composti acciaio-calcestruzzo

Ispezioni speciali e indagini in situ

5 - Il monitoraggio nella sicurezza delle infrastrutture e la digitalizzazione

Applicazione di sistemi di monitoraggio

Gestione delle informazioni e modelli informativi digitali

6 - Esercitazione

Esempi di compilazione in virtuale di schede di ispezione

7 - Tavole rotonde*

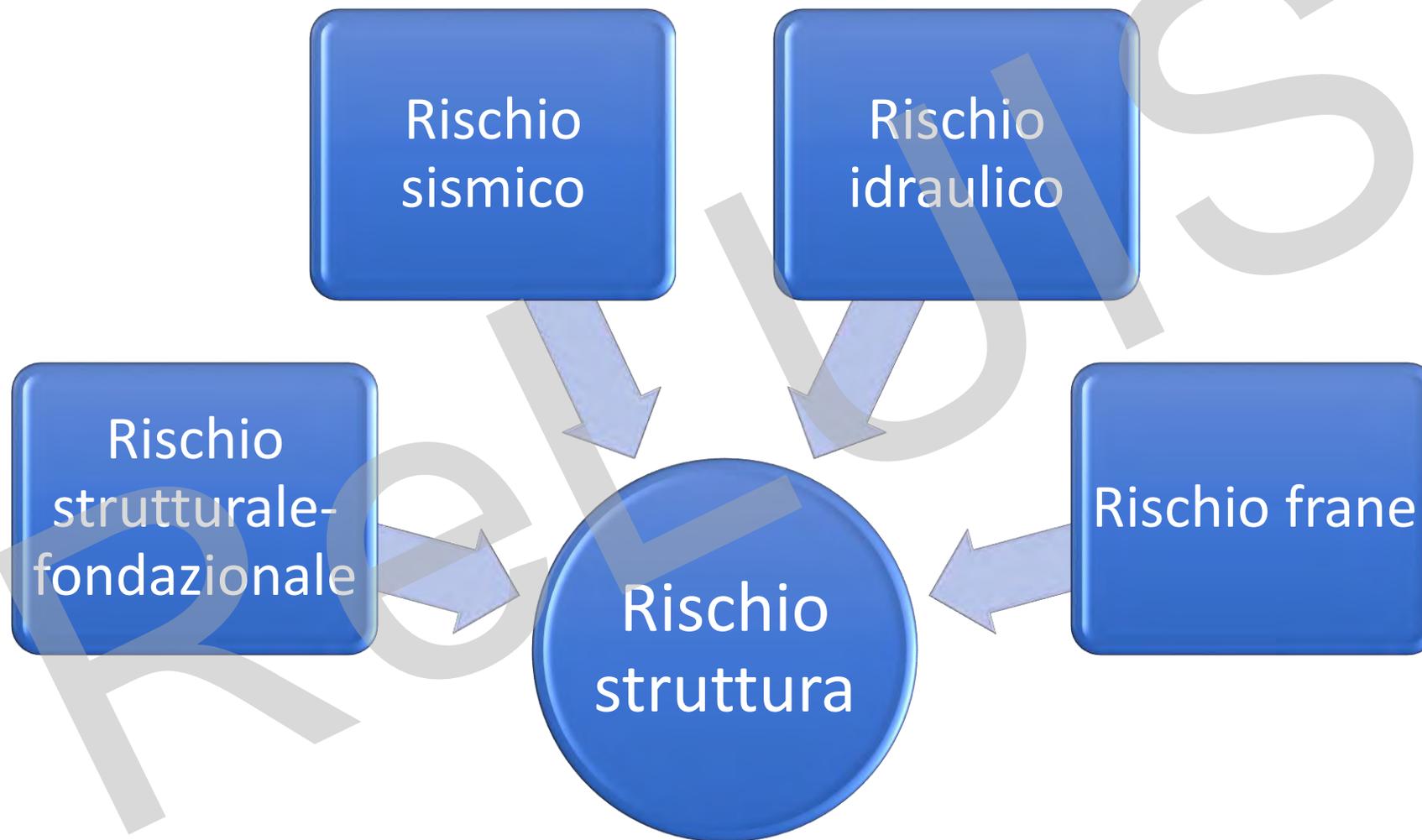
L'aggiornamento normativo per i ponti esistenti:

il punto di vista di istituzioni, enti locali, gestori e concessionari

Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

Lezione 1 - Le linee guida per i ponti esistenti

L'approccio seguito è **multi-rischio**...



(Livello 2)

... ma anche **multi-livello**



Livello 0:

Censimento di tutte le opere e delle loro caratteristiche principali

Raccolta informazioni e analisi
documentale (dati tecnici per
inquadramento vulnerabilità)

RELUIS

... ma anche **multi-livello**



Livello 0:

Censimento di tutte le opere e delle loro caratteristiche principali

Raccolta informazioni e analisi
documentale (dati tecnici per
inquadramento vulnerabilità)

Livello 1:

Ispezioni visive dirette e rilievo speditivo della struttura e delle
caratteristiche geo-morfologiche ed idrauliche dell'area

Ispezioni in situ per raccolta dati
sul degrado – schede che si
compilano periodicamente

... ma anche **multi-livello**



Livello 0:

Censimento di tutte le opere e delle loro caratteristiche principali

Raccolta informazioni e analisi documentale (dati tecnici per inquadramento vulnerabilità)

Livello 1:

Ispezioni visive dirette e rilievo speditivo della struttura e delle caratteristiche geo-morfologiche ed idrauliche dell'area

Ispezioni in situ per raccolta dati sul degrado – schede che si compilano periodicamente

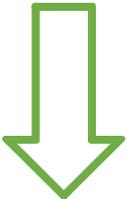
Livello 2:

Definizione classe di attenzione di ogni ponte



Per tutte le opere analizzate

... ma anche **multi-livello**



Livello 0:

Censimento di tutte le opere e delle loro caratteristiche principali

Raccolta informazioni e analisi documentale (dati tecnici per inquadramento vulnerabilità)

Livello 1:

Ispezioni visive dirette e rilievo speditivo della struttura e delle caratteristiche geo-morfologiche ed idrauliche dell'area

Ispezioni in situ per raccolta dati sul degrado – schede che si compilano periodicamente

Livello 2:

Definizione classe di attenzione di ogni ponte



Per tutte le opere analizzate

Livello 3:

Valutazioni semplificate per valutare la necessità di analisi più approfondite

Per parte delle opere analizzate al Liv.2

... ma anche **multi-livello**



Livello 0:

Censimento di tutte le opere e delle loro caratteristiche principali

Raccolta informazioni e analisi documentale (dati tecnici per inquadramento vulnerabilità)

Livello 1:

Ispezioni visive dirette e rilievo speditivo della struttura e delle caratteristiche geo-morfologiche ed idrauliche dell'area

Ispezioni in situ per raccolta dati sul degrado – schede che si compilano periodicamente

Livello 2:

Definizione classe di attenzione di ogni ponte



Per tutte le opere analizzate

Livello 3:

Valutazioni semplificate per valutare la necessità di analisi più approfondite

Per parte delle opere analizzate al Liv.2

Livello 4:

Valutazioni della sicurezza secondo NTC2018

Per parte delle opere analizzate al Liv.3 (+ casi particolari)

Vi sono casi in cui si richiede direttamente una verifica di Livello 4

- Se dal livello 1 si evince la necessità di verifiche secondo NTC
- Per le opere con CdA ALTA

... ma anche **multi-livello**



Livello 0:

Censimento di tutte le opere e delle loro caratteristiche principali

Raccolta informazioni e analisi documentale (dati tecnici per inquadramento vulnerabilità)

Livello 1:

Ispezioni visive dirette e rilievo speditivo della struttura e delle caratteristiche geo-morfologiche ed idrauliche dell'area

Ispezioni in situ per raccolta dati sul degrado – schede che si compilano periodicamente

Livello 2:

Definizione classe di attenzione di ogni ponte



Per tutte le opere analizzate

Livello 3:

Valutazioni semplificate per valutare la necessità di analisi più approfondite

Per parte delle opere analizzate al Liv.2

Livello 4:

Valutazioni della sicurezza secondo NTC2018

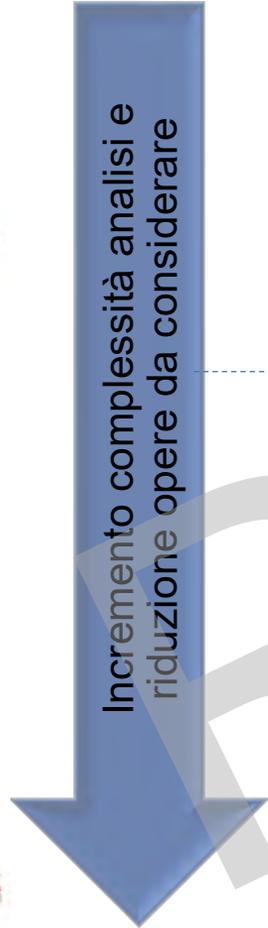
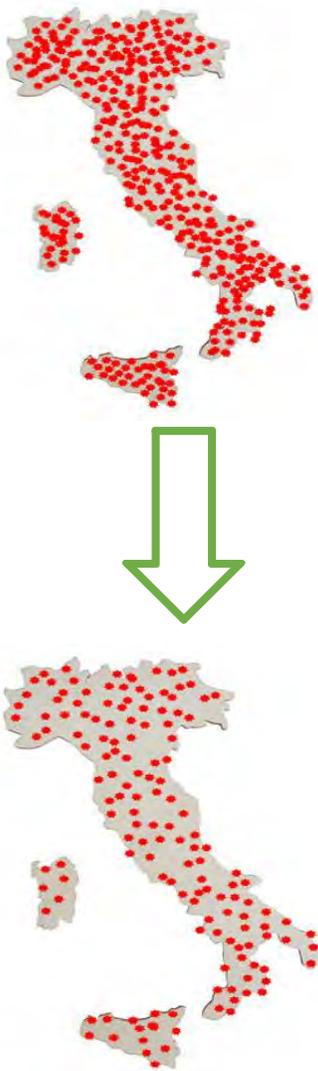
Per parte delle opere analizzate al Liv.3 (+ casi particolari)

Livello 5:

Analisi di resilienza della rete

Per opere di significativa importanza

... ma anche **multi-livello**



Livello 0:
Censimento di tutte le opere e delle loro caratteristiche principali

Raccolta informazioni e analisi documentale (dati tecnici per inquadramento vulnerabilità)

Livello 1:
Ispezioni visive dirette e rilievo speditivo della struttura e delle caratteristiche geo-morfologiche ed idrauliche dell'area

Ispezioni in situ per raccolta dati sul degrado – schede che si compilano periodicamente

Livello 2:
Definizione classe di attenzione di ogni ponte



Per tutte le opere analizzate

Livello 3:
Valutazioni semplificate per valutare la necessità di analisi più approfondite

Per parte delle opere analizzate al Liv.2

Livello 4:
Valutazioni della sicurezza secondo NTC2018

Per parte delle opere analizzate al Liv.3 (+ casi particolari)

Livello 5:
Analisi di resilienza della rete

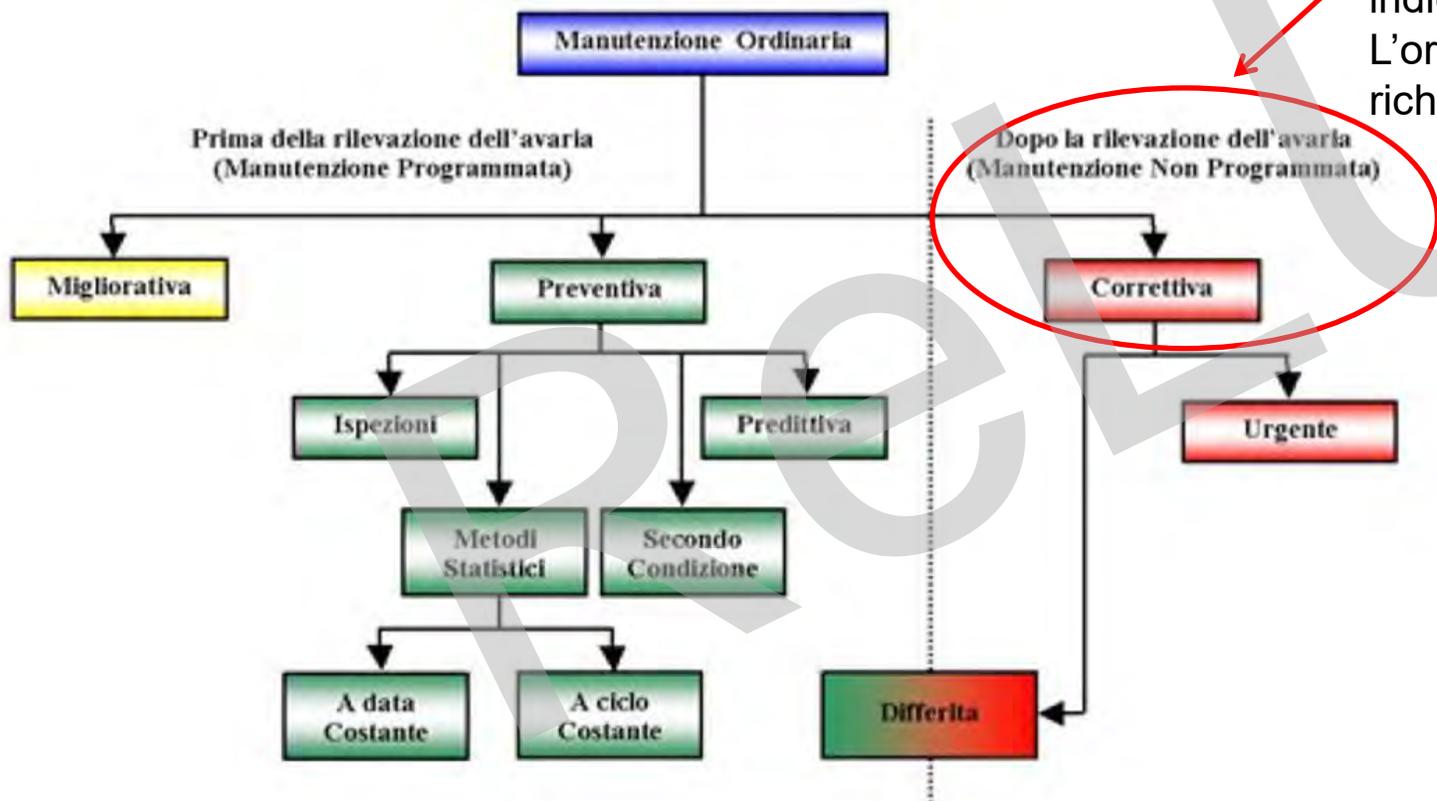
Per opere di significativa importanza

L'applicazione delle Linee Guida garantisce l'uniformità del metodo applicato e quindi consente di avere un quadro di priorità a livello regionale ma anche nazionale

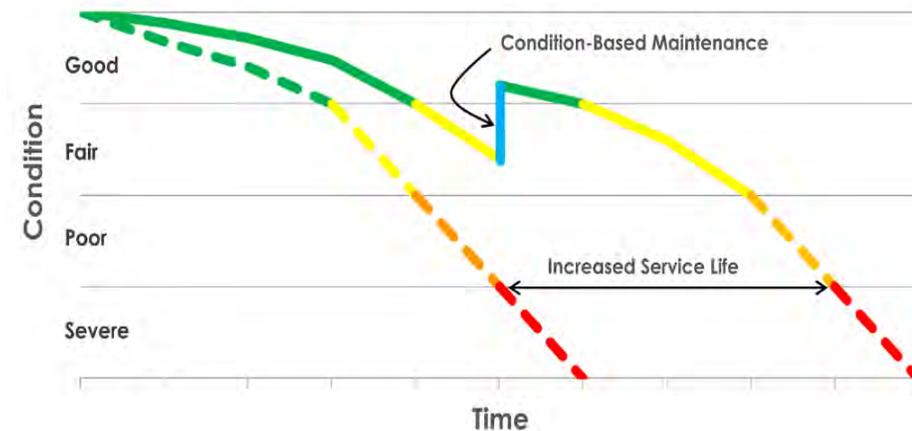
L'intera procedura delle Linee Guida ha l'obiettivo di:

- garantire la sicurezza controllando lo stato di salute delle opere
- effettuare una manutenzione più efficace per garantire la vita utile della struttura
- intervenire con la manutenzione in tempo riducendo i costi

Le linee guida possono dare alcune indicazioni per la manutenzione correttiva
L'organizzazione di tutta la manutenzione richiede anche altre attività



Solid-colored lines = With Preservation (cyclical and condition-based maintenance)
Dashed-colored lines = Without Preservation



Classificazione in base alla funzione

Ponti

Sono realizzati per superare corsi d'acqua



Viadotti

Sono realizzati quando la morfologia del terreno non consente alla strada di appoggiarsi sulla sede naturale



Sovrappassi

Sono realizzati per scavalcare altre strade o ferrovie



Sopraelevate

Sono realizzate quando è necessario scavalcare aree urbane con costruzioni preesistenti o di particolare importanza ai fini del traffico, dell'interesse urbanistico o archeologico.



Classificazione in base allo schema statico

A travata
(*struttura principale prevalentemente inflessa*)



Ad arco
(*struttura ad asse curvilineo prevalentemente compressa*)



A telaio
(*impalcato e piedritti sono in continuità*)



Sospesi
(*l'impalcato è sostenuto da un cavo curvilineo*)



Strallati
(*l'impalcato è sostenuto da cavi rettilinei*)



Classificazione in base al materiale costruttivo

Cemento armato



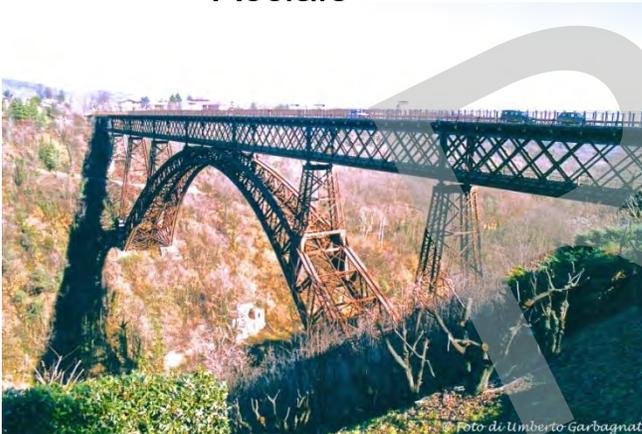
Cemento armato precompresso



Muratura



Acciaio



Acciaio - calcestruzzo

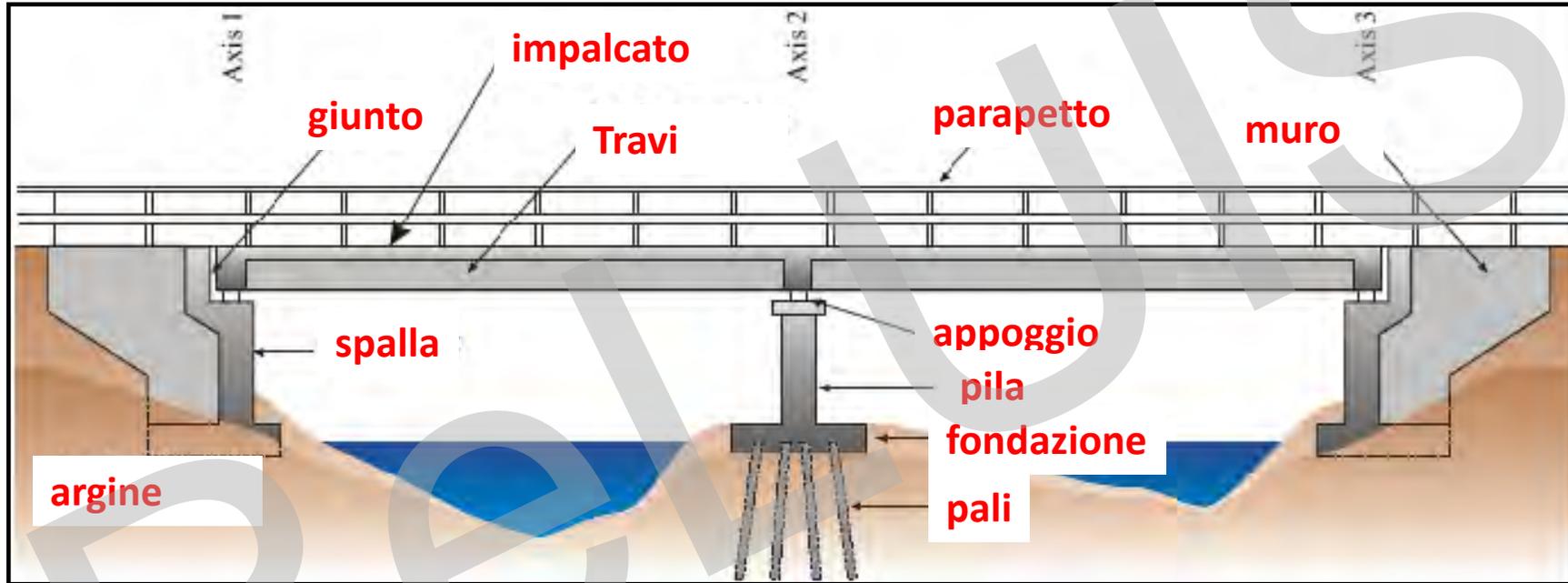


Legno



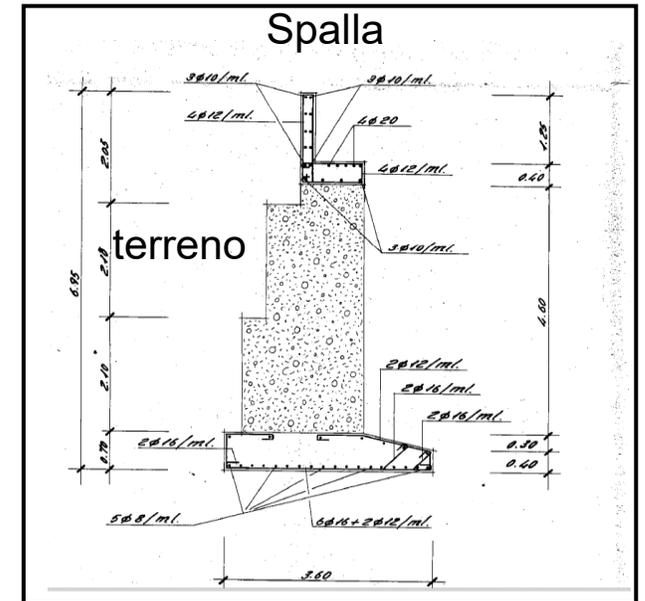
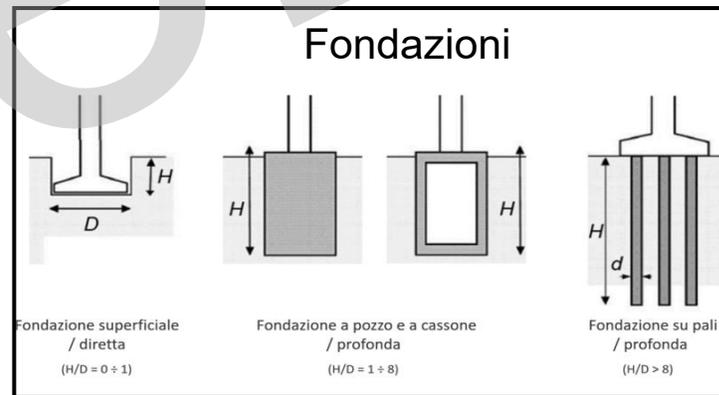
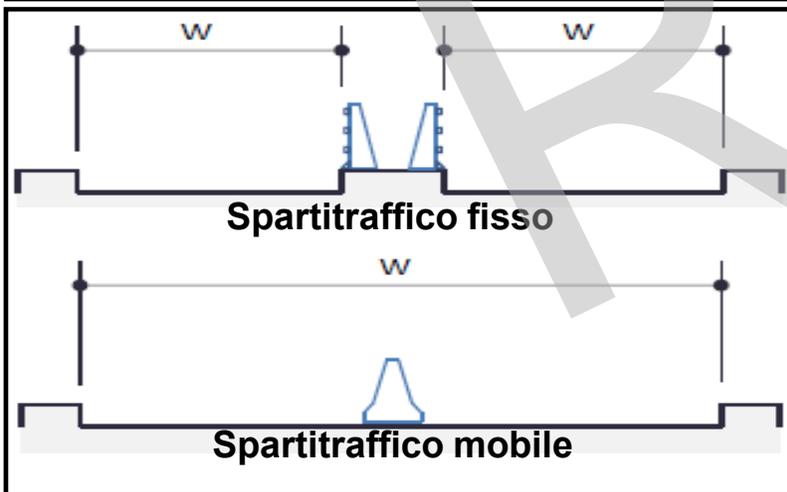
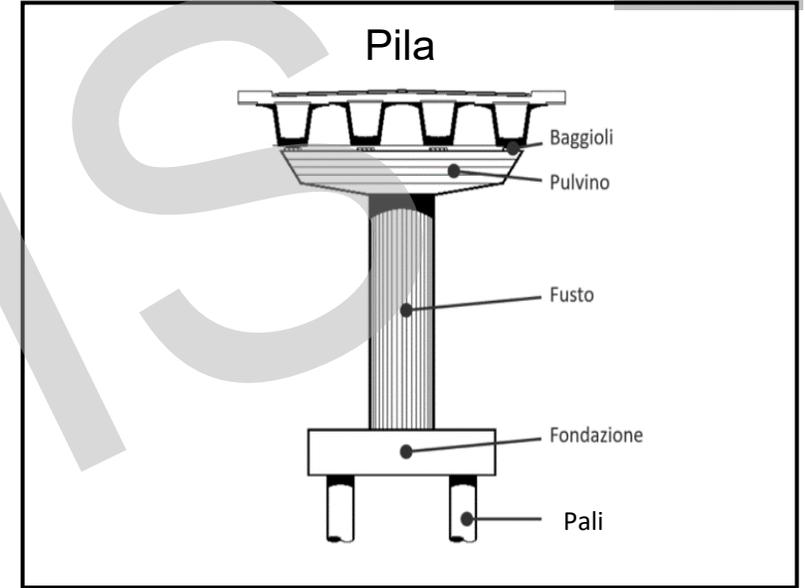
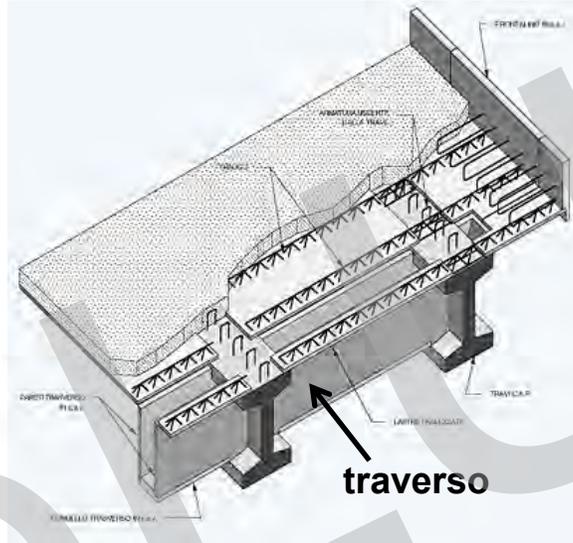
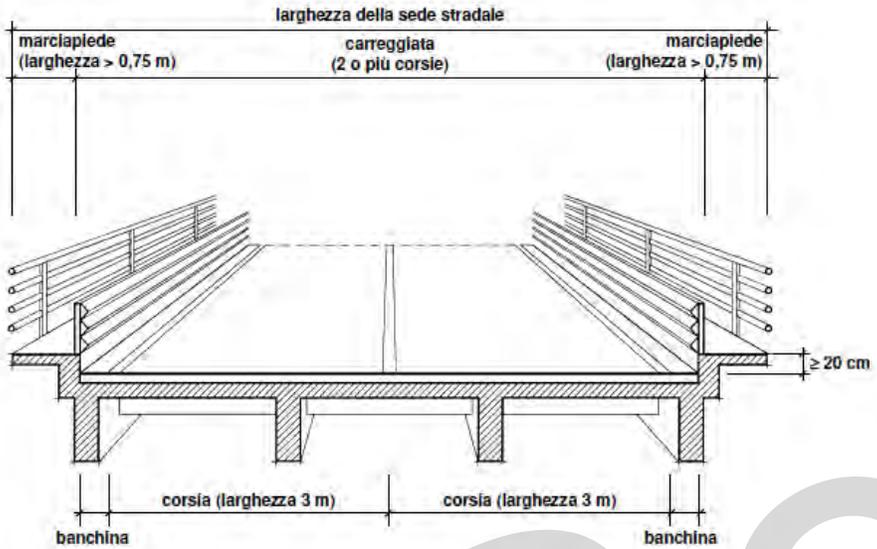
Introduzione all'analisi strutturale dei ponti

Identificazione dei principali componenti strutturali



Identificazione dei principali componenti

L'impalcato di un ponte a travata è costituito da: travi, soletta, traversi

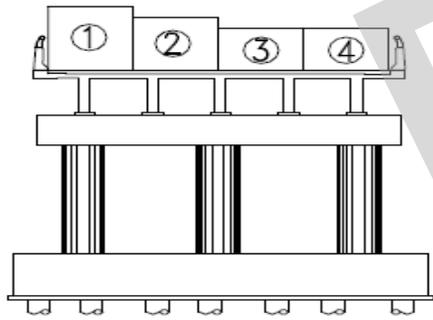


Definizione delle corsie convenzionali e esempi di carichi di progetto secondo NTC2018

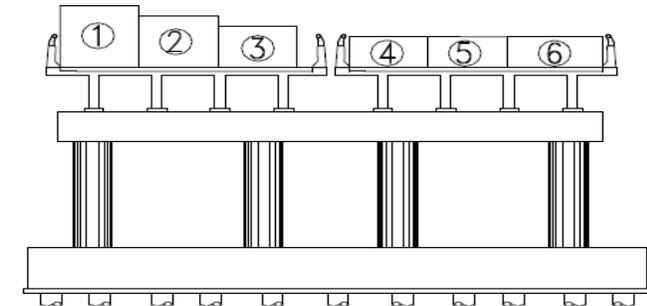
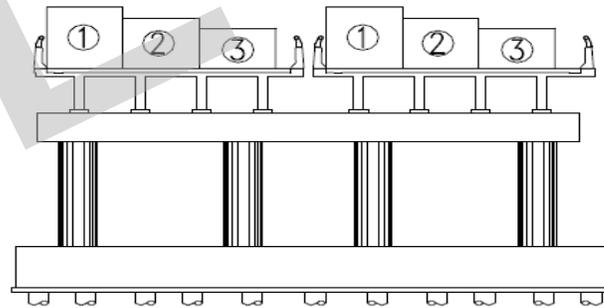
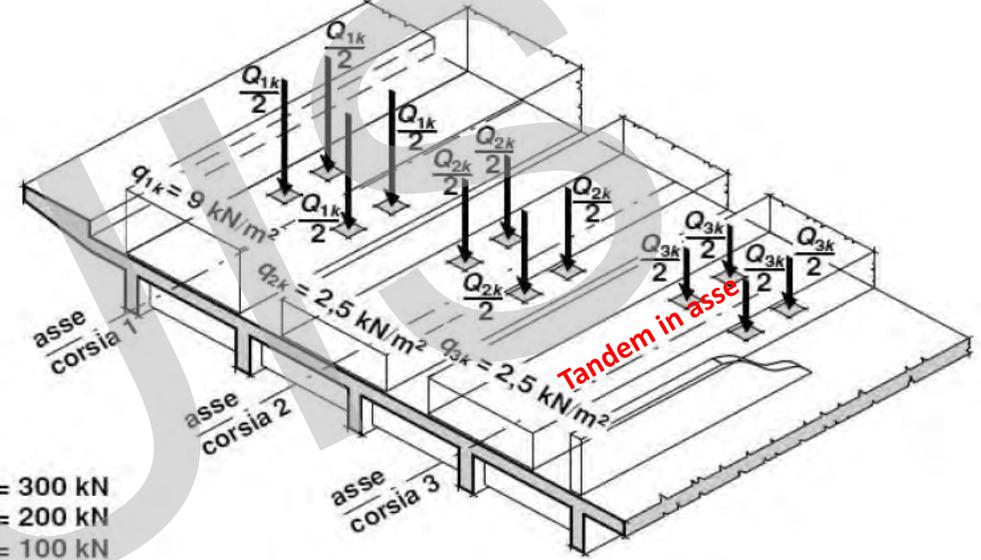


Tab. 5.1.I - Numero e larghezza delle corsie

Larghezza della superficie carrabile "w"	Numero di corsie convenzionali	Larghezza di una corsia convenzionale [m]	Larghezza della zona rimanente [m]
$w < 5,40 \text{ m}$	$n_l = 1$	3,00	$(w - 3,00)$
$5,4 \leq w < 6,0 \text{ m}$	$n_l = 2$	$w/2$	0
$6,0 \text{ m} \leq w$	$n_l = \text{Int}(w/3)$	3,00	$w - (3,00 \times n_l)$



Le corsie devono essere numerate sull'impalcato



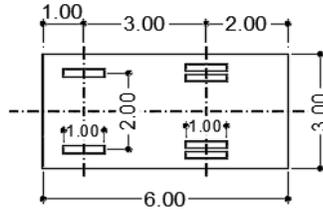
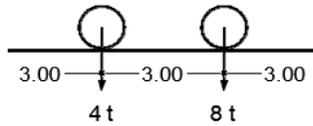
Se il ponte è costituito da impalcati separati longitudinalmente (indipendenti):

- ✓ per il **progetto di ciascun impalcato** si adottano numerazioni indipendenti.
- ✓ quando, invece, gli impalcati indipendenti sono portati da una singola pila o da una singola spalla, per il **progetto della pila o della spalla** si adotta un'unica numerazione per le due parti

Le normative sono cambiate nel tempo e con esse i carichi di progetto

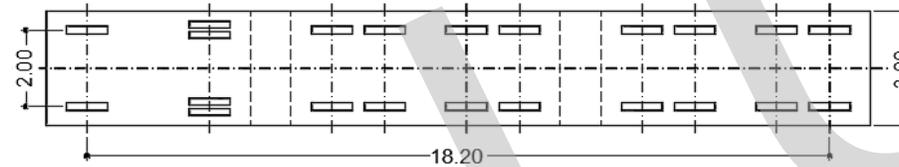
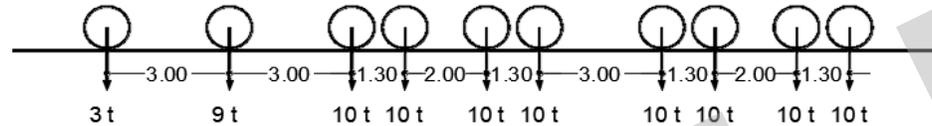
Schema 1°

Colonna indefinita di autocarri del peso di 12 tonn



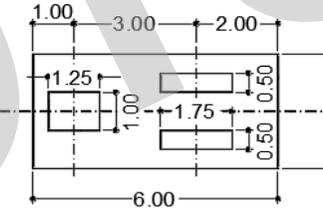
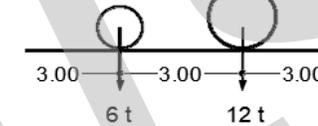
Schema 2°

Traino con veicoli del peso massimo di 40 tonn



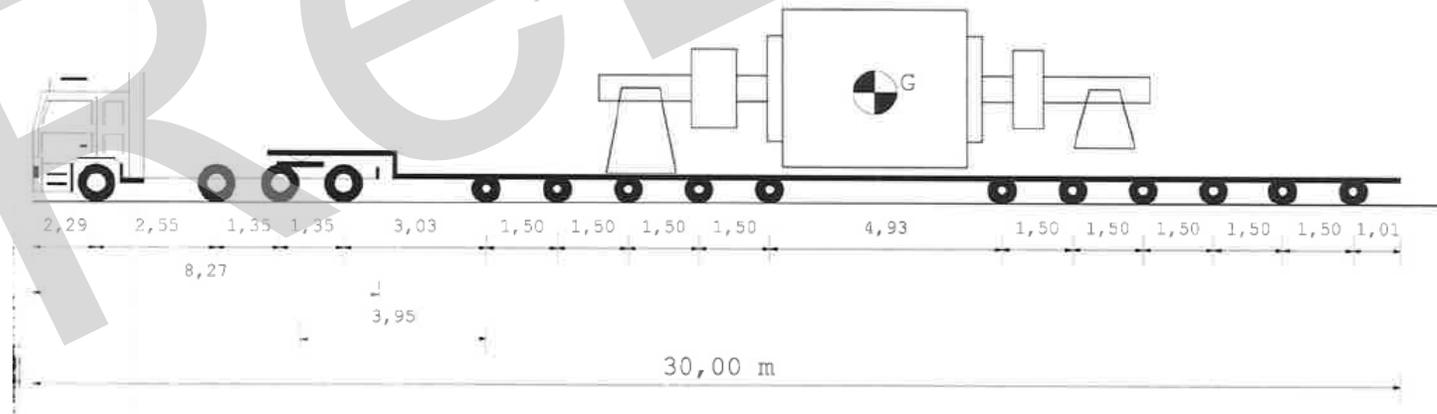
Schema 3°

Rullo compressore da 18 tonn



Norma n. 8 del 1933

In alcuni casi passano anche transiti eccezionali



Livello 0

Obiettivi:

- **catalogare tutte le opere** presenti sul territorio ($L > 6m$) in relazione a:
(i) geometria ed elementi strutturali, (ii) rete stradale in cui sono inserite, (iii) sito in cui è ubicata;
- **individuare un ordine di priorità** utile per **programmare le ispezioni visive** in situ e avviare le attività previste dal Livello 1;
- **fornire indicazioni** che, **con le ispezioni visive (Livello 1)**, permettono di individuare i casi in cui è direttamente necessaria una verifica approfondita della sicurezza (**Livello 4**).

Informazioni richieste (attraverso la compilazione delle **schede di censimento**):

ubicazione, sistema strutturale compresi i materiali, schema statico, periodo di costruzione, normativa in vigore al momento della progettazione/costruzione, interventi di miglioramento/adequamento, eventuali trasformazioni e danni subiti, ruolo dell'opera all'interno del sistema di trasporto, volume e tipologia di traffico.

Possibili fonti di informazione:

- google earth per visualizzare la struttura e la sua collocazione nel contesto ambientale
- documenti progettuali se disponibili
- analisi storiche della infrastruttura stradale per individuare la data di costruzione se il progetto non è disponibile.

Tutte queste informazioni devono essere rese disponibili dall'ente gestore del ponte nell'Archivio Informatico Nazionale delle Opere Pubbliche (e.g. AINOP del Ministero delle Infrastrutture e delle Mobilità Sostenibili).

Schede di censimento ponti di Livello 0



Codice IOP _____ Nome Ponte/Viadotto _____
 Strada di appartenenza: _____ Progressiva km iniziale: _____ Progressiva km finale: _____

Localizzazione

Provincia/Regione:	_____	Coordinate Geografiche <input type="radio"/> ETRF2000 <input type="radio"/> WGS84	Centro	Quota s.l.m. [m]: _____ Longitudine: _____ Latitudine: _____
Comune:	_____		Iniziale	Quota s.l.m. [m]: _____ Longitudine: _____ Latitudine: _____
Località:	_____		Finale	Quota s.l.m. [m]: _____ Longitudine: _____ Latitudine: _____
Sismicità dell'area [a_g/g] (Suolo A, TR = 475 anni)	_____			

Fenomeni erosivi e di alluvionamento Assenti Già valutati Da verificare
 Fenomeni franosi Assenti Già valutati Da verificare

Informazioni generali

Proprietario	_____	Anno di costruzione/ ristrutturazione	Ultimazione costruzione (collaudo)	Eventuali interventi sostanziali
Concessionario	_____		<input type="radio"/> Effettivo <input type="radio"/> Presunto	<input type="radio"/> Effettivo <input type="radio"/> Presunto
Ente vigilante	_____			

Dati di progetto

Progettista	_____	Anno di progettazione	Data inizio	Data fine	Data approvazione
Norma di progetto	_____				
Ente approvatore	_____		<input type="radio"/> Effettivo	<input type="radio"/> Effettivo	<input type="radio"/> Effettivo
			<input type="radio"/> Presunto	<input type="radio"/> Presunto	<input type="radio"/> Presunto

Tutela ai sensi del Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42

Provvedimenti di tutela _____

Autore della progettazione _____

Inserimento del ponte nell'ambito dei Piani Paesaggistici vigenti/adottati _____

Stato dell'opera

<input type="radio"/> A Pienamente agibile	<input type="radio"/> B Agibile ma con scadenze di lavori di manutenzione ordinaria	<input type="radio"/> C Agibile ma con scadenze di lavori di manutenzione straordinaria	<input type="radio"/> D Condizioni critiche e agibile parzialmente/ lavori di manutenzione urgenti	<input type="radio"/> E Inagibile
-----------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------

Classificazione del collegamento e Classificazione d'uso stradale

Tipo di collegamento

<input type="radio"/> Ponte su corso d'acqua	<input type="radio"/> reticolo principale	<input type="radio"/> Ponte su specchi d'acqua marini
<input type="radio"/> Viadotto su zona edificata	<input type="radio"/> reticolo secondario	<input type="radio"/> Viadotto su zona urbanizzata
<input type="radio"/> Viadotto su altra via di comunicazione		<input type="radio"/> Ponte/Viadotto su discontinuità orografica (vallata, piccoli canali, ecc.)
<input type="radio"/> Ponte su ferrovia		

Classificazione d'uso stradale

<input type="radio"/> Autostrada o Ferrovia	<input type="radio"/> Strada extraurbana secondaria	<input type="radio"/> Strada urbana di quartiere
<input type="radio"/> Strada extraurbana principale	<input type="radio"/> Strada urbana di scorrimento	<input type="radio"/> Strada locale

Dati Geomorfologici

Morfologia del sito

- | | |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| <input type="radio"/> Cresta | <input type="radio"/> Pendio dolce (0 – 10°) |
| <input type="radio"/> Pendio moderato (10° - 25°) | <input type="radio"/> Pendio ripido (> 25°) |
| <input type="radio"/> Pianura | <input type="radio"/> Pianura alla base dei versanti |

Caratteristiche geometriche

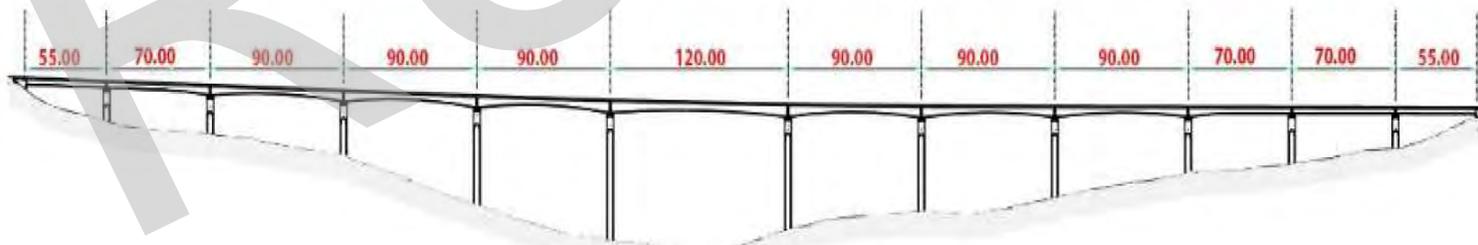
Luce complessiva (Estesa) [m]	_____	N° campate	_____
Larghezza totale impalcato [m]	_____	Luce campate	_____
Tracciato	<input type="radio"/> Rettilineo	<input type="radio"/> In curva	

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.2.2

La luce complessiva dell'opera deve essere misurata in metri da considerando la distanza tra gli assi di appoggio o di imposta:



La luce delle singole campate deve essere misurata in metri dall'interasse delle pile:



Tipologia strutturale

- | | | | | |
|-------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| <input type="radio"/> Arco in Muratura | <input type="radio"/> Travate appoggiate | <input type="radio"/> Travate continue | <input type="radio"/> Soletta in C.A. | <input type="radio"/> Sezione tubolare in c.a. |
| <input type="radio"/> Arco in C.A. | <input type="radio"/> Travate Gerber | <input type="radio"/> Cassone in Precompresso | <input type="radio"/> Sezione tubolare in acciaio | <input type="radio"/> Arco in acciaio |
| <input type="radio"/> Strallato o sospeso | <input type="radio"/> Altro _____ | | <input type="radio"/> Travate in c.a.p. a cavi post-tesi | |



Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

Lezione 1 - Le linee guida per i ponti esistenti

Spalle

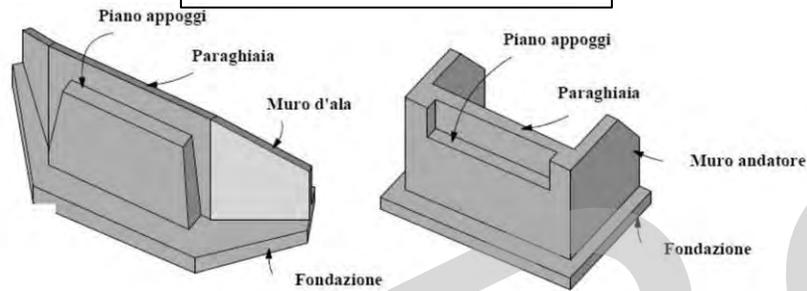
Tipologia spalla iniziale

Tipologia spalla finale

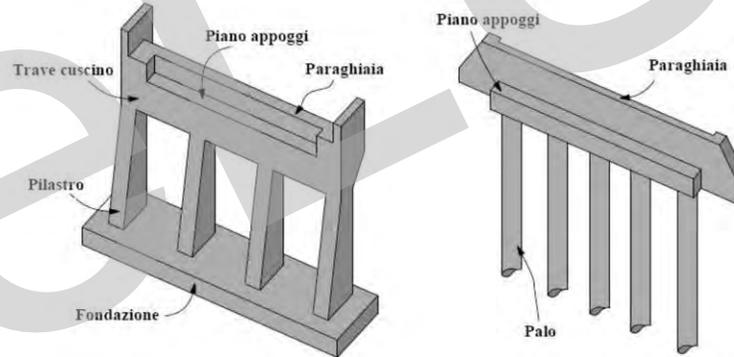
Fondazioni spalla iniziale

Fondazioni spalla finale

Spalla a setti in C.A.



Spalla passante



Spalla a elementi prefabbricati



(Lezione 2)

Pile - Materiale costruttivo

Muratura
 C.a.
 C.A.P.
 Acciaio
 Misto (C.a./acciaio)

Legno
 Altro: _____

Pile

Tipologia sezione	_____	Geometria sezione (circolare, rettangolare, etc.):	_____
Tipologia fondazioni	_____	Numero fondazioni	_____
Altezza pile [m]	_____	Evoluzione eventuale rispetto al fondo alveo*	_____

Pila a fusto semplice



Pila a setto



Pila a Fusti multipli



Pila a telaio



*Variazione di quote del fondo alveo rispetto al piano di imposta della fondazione

Pila a Cavalletto



Impalcato - Materiale costruttivo

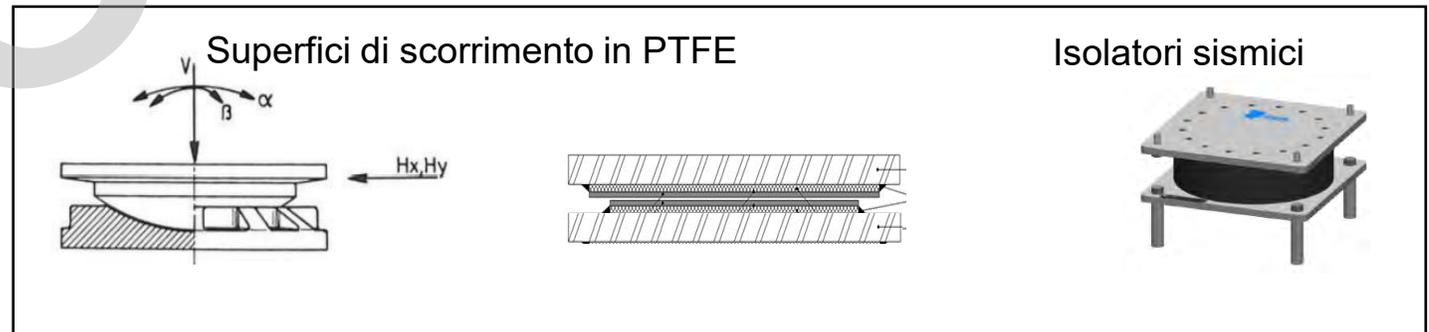
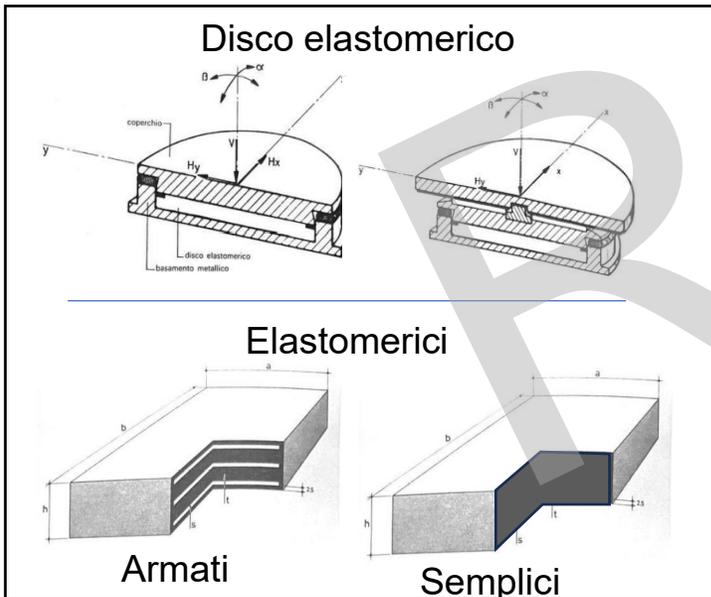
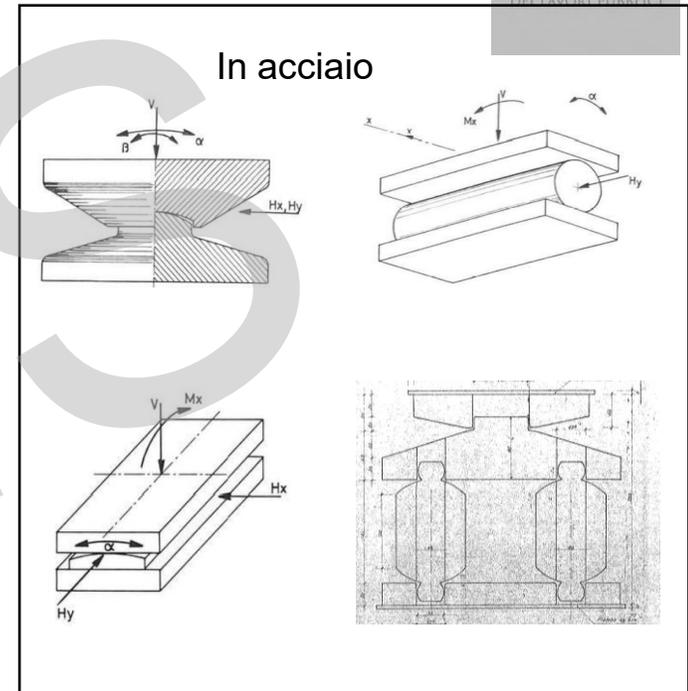
- Muratura C.a. C.A.P. Acciaio Misto (C.a./acciaio)
 Legno Altro: _____

Impalcato - Tipologia soletta

- C.a. C.A.P. Misto (c.a./acciaio) Acciaio Legno
 Altro: _____

Sistemi di protezione ed apparecchi di appoggio

Tipo sistemi di protezione: _____ Larghezza carreggiata [m]: _____
 Tipologia apparecchi di appoggio: _____ Tipologia dispositivi antisismici: _____



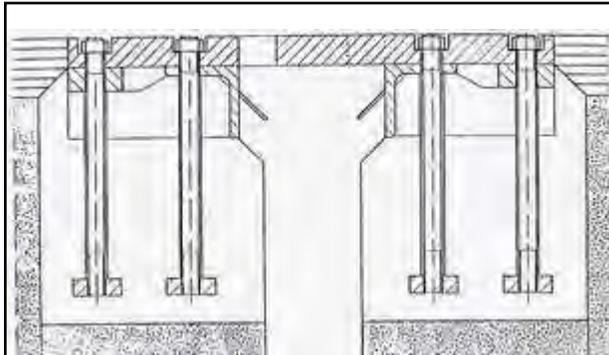
Giunti

Tipologia giunti _____

Numero totale giunti _____

Lunghezza giunto spalla [m] _____

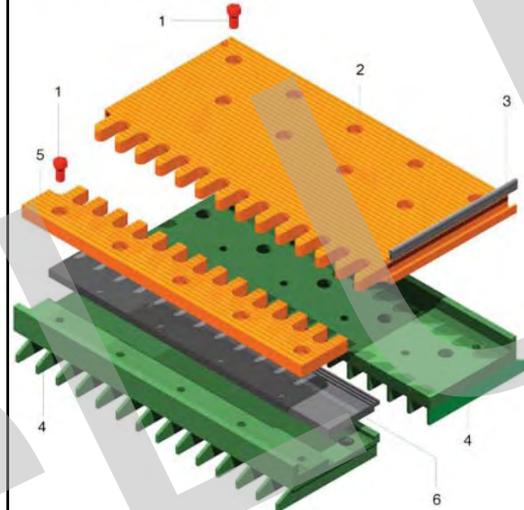
Lunghezza giunto pila [m] _____



giunto a pettine

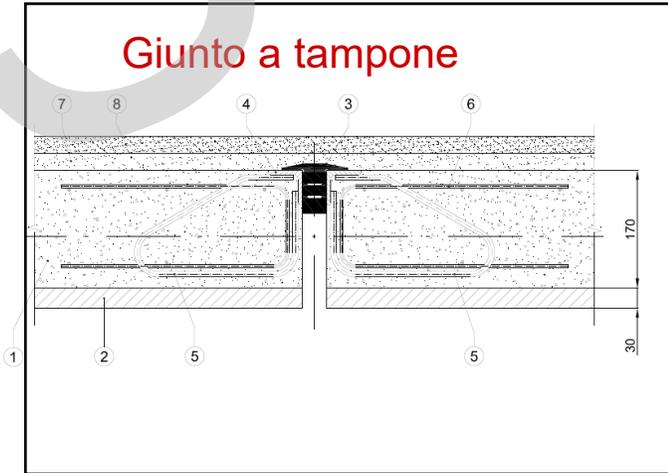


giunto a pettine modificato

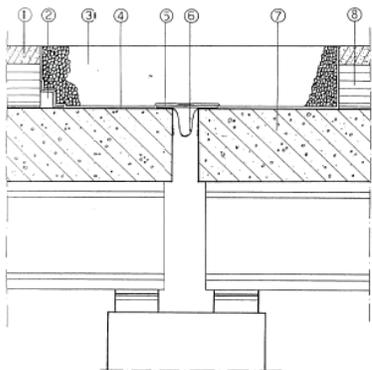


Pos.	Descrizione
1	bullone mordente
2	piastra grande
3	guarnizione in gomma EPDM
4	piano di appoggio con ancoraggi
5	piastra piccola
6	tappeto in gomma EPDM

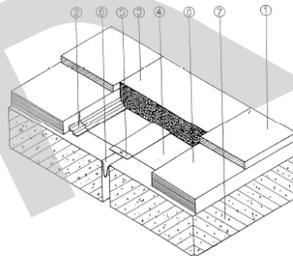
Giunto a tampone



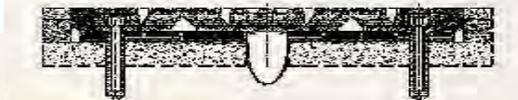
Giunto a tampone viscoelastico



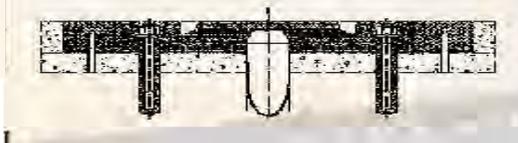
1. STRATO DI USURA
2. DISPOSITIVO DI DRENO
3. TAMPONE VISCOELASTICO
4. LEGANTE BITUMINOSO
5. LAMIERINO D'ACCIAIO
6. SCOSSALINA
7. SOLETTA
8. BINDER



1. STRATO DI USURA
2. DISPOSITIVO DI DRENO
3. TAMPONE VISCOELASTICO
4. LEGANTE BITUMINOSO DORNATO FUSO
5. LAMIERINO D'ACCIAIO
6. SCOSSALINA
7. SOLETTA
8. BINDER



Giunti in gomma



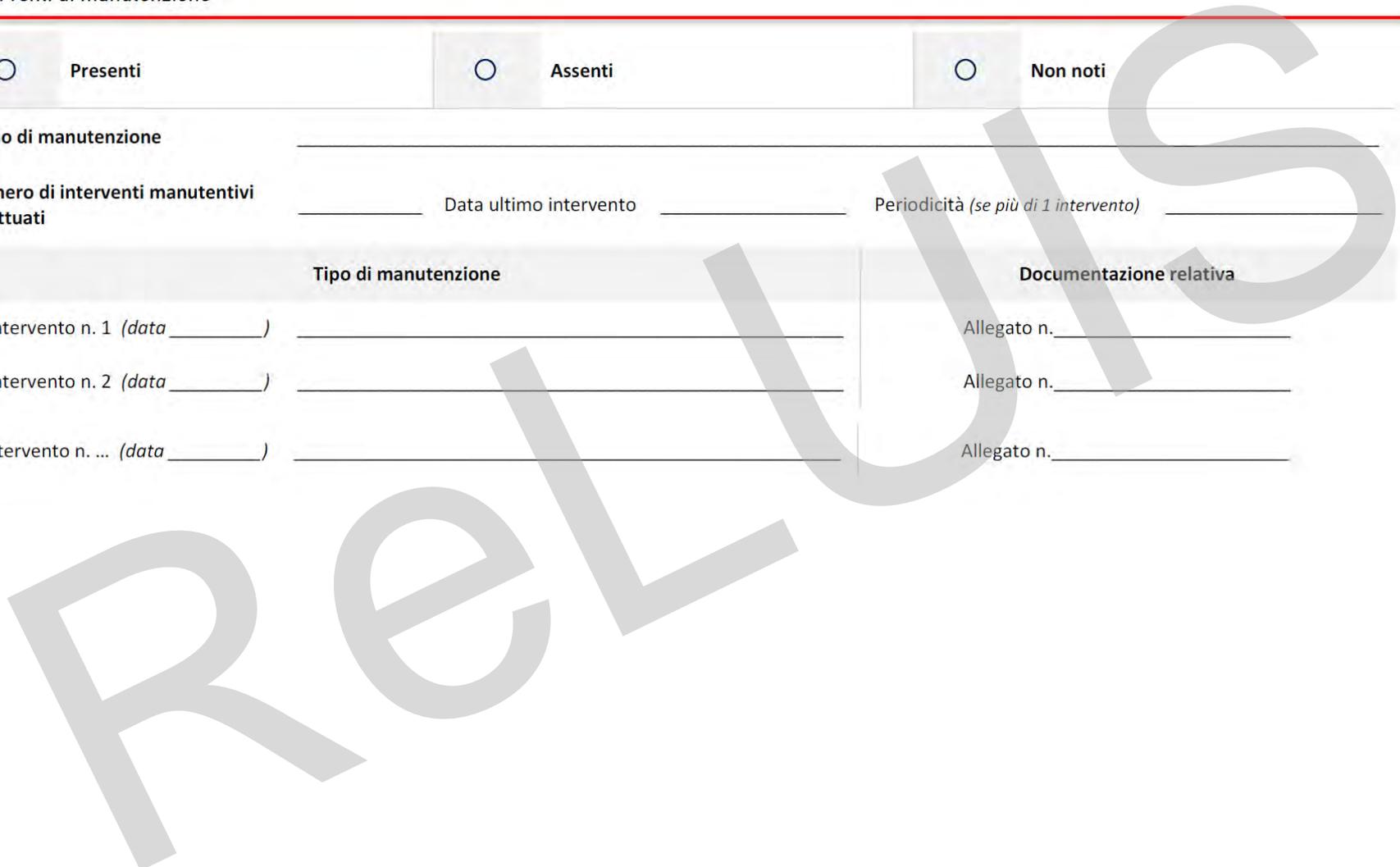
Descrizione degli eventuali interventi strutturali eseguiti

<input type="radio"/>	Volta in muratura	<i>Descrizione:</i>
<input type="radio"/>	Riparazione/Sostituzione di elementi strutturali	<i>Descrizione:</i>
<input type="radio"/>	Ampliamento di carreggiata e delle strutture	<i>Descrizione:</i>
<input type="radio"/>	Elementi strutturali aggiuntivi/consolidamento	<i>Descrizione:</i>
<input type="radio"/>	Interventi di carattere geotecnico in fondazione e/o in corrispondenza delle spalle	<i>Descrizione:</i>
<input type="radio"/>	Interventi di mitigazione/protezione dall'erosione di spalle e pile	<i>Descrizione:</i>
<input type="radio"/>	Altro:	

Schede di livello 0

Interventi di manutenzione

<input type="radio"/> Presenti	<input type="radio"/> Assenti	<input type="radio"/> Non noti
Piano di manutenzione _____		
Numero di interventi manutentivi effettuati _____	Data ultimo intervento _____	Periodicità (se più di 1 intervento) _____
Tipo di manutenzione		Documentazione relativa
Intervento n. 1 (data _____)	_____	Allegato n. _____
Intervento n. 2 (data _____)	_____	Allegato n. _____
Intervento n. ... (data _____)	_____	Allegato n. _____



Ispezioni pregresse

Presenti **Assenti** **Non note**

Programma di ispezioni _____

Numero di ispezioni effettuate _____ **Data ultima ispezione** _____ **Periodicità (se più di 1 ispezione)** _____

	Metodologia ispezioni	Documentazione relativa	Ente ispettivo
Ispezione n. 1 (data _____)	_____	Allegato n. _____	_____
Ispezione n. 2 (data _____)	_____	Allegato n. _____	_____
Ispezione n. ... (data _____)	_____	Allegato n. _____	_____

Risultati significativi

Schede di livello 0

Attività di monitoraggio pregresse o in corso

<input type="radio"/> Presenti	<input type="radio"/> Assenti	<input type="radio"/> Non note
Tipo rilevamento	_____	Data inizio _____
Metodologia monitoraggio	_____	Data ultimo aggiornamento _____
	_____	Data fine _____
Tipologia strumentazione	_____	
Grandezze misurate	_____	
Risultati significativi	_____	

Livello Allerta	_____	
Documentazione relativa	_____	Allegato n. _____

Rete stradale

Itinerario Internazionale	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	Rete TEN	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO
Rete emergenza	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO			
N° di carreggiate			N° corsie/carreggiata		
Presenza di curve	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO			
Traffico Medio Giornaliero			veicoli/giorno (sull'intera carreggiata)		
Traffico Medio Giornaliero – Veicoli commerciali*			veicoli/giorno (sull'intera carreggiata)		
			veicoli/giorno (per singola corsia di marcia)		
<i>*veicoli la cui sagoma corrisponde a tipologie con portata superiore a 3,5 t</i>					
Limitazione di carico	<input type="radio"/> Nessuna limitazione presente	<input type="radio"/> Massima massa consentita		ton	
Presenza di alternative stradali (in caso di chiusure/limitazioni di traffico)	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO			
Durata deviazione		Km		Minuti	
Categoria del percorso alternativo individuato					
Disponibilità di studi trasportistici specifici	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	Allegato n.		

il numero medio di veicoli transitanti in un giorno sull'intera larghezza di carreggiata servita dal ponte

L'obiettivo delle reti transeuropee (TEN) è la creazione di un'infrastruttura moderna ed efficiente per collegare le regioni europee e le reti nazionali

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.3.1

Si intende che il TGM è relativo a tutte le carreggiate sostenute dalla stessa sottostruttura. Qualora il dato TGM non fosse disponibile per la rete stradale in esame, si può far riferimento al dato TGM noto per tratte limitrofe e/o caratterizzate da simili caratteristiche.



Classi di conseguenza (secondo definizione EN 1990:2002)

<input type="radio"/>	CC3 (Elevate conseguenze per perdita di vite umane, o con conseguenze molto gravi in termini economici, sociali o ambientali)
<input type="radio"/>	Minore di CC3
	<input type="radio"/> CC2 (Conseguenze medie per perdita di vite umane, o con conseguenze considerevoli in termini economici, sociali o ambientali considerevoli) <input type="radio"/> CC1 (Conseguenze basse per perdita di vite umane, o con conseguenze modeste o trascurabili in termini economici, sociali o ambientali)

In caso di classe di conseguenza **minore di CC3**, fornire adeguata giustificazione:

Documenti progettuali disponibili

<u>Documentazione iniziale</u>		Fonte		Allegato n.
Strumenti del finanziamento	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
Piani e strumento di programmazione	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<u>Progetto preliminare/di massima</u>		Fonte		Allegato n.
Documenti descrittivi	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
Documenti grafici	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
Documenti inerenti l'iter di approvazione	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<u>Progetto definitivo/esecutivo</u>		Fonte		Allegato n.
Documenti descrittivi	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	

Schede di livello 0

<i>Documenti grafici</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<i>Documenti inerenti l'iter di approvazione</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<u>Progetto esecutivo/cantierabile</u>		Fonte		Allegato n.
<i>Documenti descrittivi</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<i>Documenti grafici</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<i>Documenti inerenti l'iter di approvazione</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<u>Documenti inerenti la direzione dei lavori</u>		Fonte		Allegato n.
<i>Documenti contabili</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<i>Grafici allegati alla contabilità dell'appalto</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<u>Documenti inerenti la realizzazione</u>		Fonte		Allegato n.
<i>Documenti contrattuali</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<i>Documenti contabili</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<u>Varianti in corso d'opera</u>		Fonte		Allegato n.
<i>Variante 1</i>				
<i>Documenti descrittivi</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<i>Documenti grafici</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<i>Documenti contrattuali e contabili</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<i>Variante ...</i>				
<i>Documenti descrittivi</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<i>Documenti grafici</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<i>Documenti contrattuali e contabili</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<u>Documenti inerenti il collaudo</u>		Fonte		Allegato n.

Schede di livello 0

<i>Relazione di collaudo</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<i>Allegati alla relazione di collaudo</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<u>Interventi di manutenzione</u>		Fonte		Allegato n.
<i>Manutenzione 1</i>				
<i>Documenti descrittivi</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<i>Documenti grafici</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<i>Documenti contrattuali e contabili</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<i>Manutenzione ...</i>				
<i>Documenti descrittivi</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<i>Documenti grafici</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<i>Documenti contrattuali e contabili</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<u>Segnalazioni</u>		Fonte		Allegato n.
<i>Segnalazione 1</i>				
<i>Documenti descrittivi con date</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<i>Documenti grafici con date</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<i>Segnalazione ...</i>				
<i>Documenti descrittivi con date</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<i>Documenti grafici con date</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<u>Progetto di incremento del grado di sicurezza</u>		Fonte		Allegato n.
<i>Progetto 1</i>				
<i>Documenti descrittivi</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<i>Documenti grafici</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	

Schede di livello 0

<i>Progetto ...</i>				
<i>Documenti descrittivi</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<i>Documenti grafici</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<u>Interventi di incremento del grado di sicurezza</u>		Fonte		Allegato n.
<i>Intervento 1</i>				
<i>Documenti descrittivi</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<i>Documenti grafici</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<i>Intervento ...</i>				
<i>Documenti descrittivi</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<i>Documenti grafici</i>	<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
<u>Documenti disponibili inerenti alle condizioni di rischio idrogeologico</u>				
<i>Rischio idraulico</i>				
<i>Rischio frane</i>				
<u>Altre documentazioni (es. zonazioni da Enti locali)</u>				

Livello 1

Obiettivi:

- verificare l'**attendibilità dei dati** raccolti nel censimento di Livello 0;
- raccogliere **ulteriori informazioni** circa le effettive caratteristiche geometriche e strutturali dell'opera e del sito e valutare, seppur in maniera speditiva e sommaria, **il grado di conservazione delle strutture (schede di difettosità)**
- individuare la presenza di "**elementi critici**"

I dati da **Livello 0** e dalle **ispezioni di Livello 1** permettono anche di identificare i casi nei quali si **passa direttamente al Livello 4**

Risultato:

accurato rilievo fotografico, geometrico e dei principali fenomeni di degrado e difetti presenti (schede di valutazione dei difetti)

Modalità di esecuzione:

Ispezioni visive su tutte le opere presenti sul territorio e catalogate nel censimento di Livello 0

Esame sia dell'estradosso sia dell'intradosso del ponte in ogni loro elemento in modo da avere una visibilità completa ed adeguata anche, ove opportuno, di vani chiusi quali cassoni o pile cave

Strumentazione minima di base: strumenti di misura, strumenti fotografici, ecc.

Il tutto va eseguito compilando:

- *scheda descrittiva di ispezione* con le caratteristiche principali della struttura rilevate durante l'ispezione visiva, quali tipologia strutturale, tipologia e materiale degli elementi strutturali, caratteristiche idro-geomorfologiche del territorio, schemi geometrici di massima
- *schede di valutazione dei difetti (difettologiche) per ogni elemento del ponte*
- *schede di valutazione dei difetti (difettologiche) per elementi accessori*

Livello 1

Schede descrittive di ispezione ponti di Livello 1

Strada di appartenenza: _____ Progressiva km: _____

Tecnico rilevatore: _____ Data ispezione: _____

Localizzazione

Provincia/Regione: _____

Comune: _____

Località: _____

Coordinate Geografiche

ETRF2000

WGS84

Centro	Quota s.l.m. [m]: _____
	Longitudine: _____ Latitudine: _____
Iniziale	Quota s.l.m. [m]: _____
	Longitudine: _____ Latitudine: _____
Finale	Quota s.l.m. [m]: _____
	Longitudine: _____ Latitudine: _____

Tipologia strutturale

Arco Massiccio

Travate appoggiate

Travate continue/Telaio

Soletta appoggiata

Soletta incastrata

Arco sottile

Travate Gerber/Ponti a stampella con travi tampone

Sezione tubolare

Strallato o sospeso

Altro _____

Travate in c.a.p. a cavi post-tesi

Schema isostatico

Schema iperstatico

Obiettivi:

- verificare l'attendibilità dei dati
- raccogliere ulteriori informazioni qualitativamente il grado di co...

Risultato:

accurato rilievo fotografico, e valutazione dei difetti)

Modalità di esecuzione:

Ispezioni visive su tutte le opere. Esame sia dell'estradosso sia adeguata anche, ove opportuno. Strumentazione minima di base

Il tutto va eseguito compilando:

- **scheda descrittiva di ispezione** con le caratteristiche principali della struttura rilevate durante l'ispezione visiva, quali tipologia strutturale, tipologia e materiale degli elementi strutturali, caratteristiche idro-geomorfologiche del territorio, schemi geometrici di massima
- **schede di valutazione dei difetti (difettologiche) per ogni elemento del ponte**
- **schede di valutazione dei difetti (difettologiche) per elementi accessori**

Livello 1

Schede difettologiche = Manuale dei difetti
- allegato C alle LLGG

Schede difettologiche

Le schede difettologiche riportano la descrizione dei fenomeni di degrado da rilevare in sede di ispezione e i criteri per l'individuazione dei parametri da assegnare.

Ogni scheda è riferita ad uno specifico difetto. Esse sono divise in macro-gruppi in funzione del materiale su cui il difetto a cui si riferisce può manifestarsi. Nel seguito si trova la seguente suddivisione:

- Acciaio o Metallo: include i difetti riscontrabili su elementi in acciaio;
- Muratura: include i difetti riscontrabili su elementi in muratura;
- C.a./C.a.p.: include i difetti riscontrabili su elementi in c.a. o in c.a.p.;
- C.a.p.: include i difetti specifici degli elementi in c.a.p.;
- Legno: include i difetti riscontrabili su elementi in legno.

In aggiunta si trovano schede riferite a:

- Difetti generici, riscontrabili su tutti i materiali sopra elencati;
- Apparecchi di appoggio;
- Rilevati e Fondazioni;
- Giunti;
- Elementi accessori.

Ogni difetto è identificato da un numero, riportato sulla scheda in alto a destra, che ne permette l'individuazione nelle schede di difettosità.

Il tutto va eseguito compilando:

- *scheda descrittiva di ispezione* con le caratteristiche principali della struttura rilevate durante l'ispezione visiva, quali tipologia strutturale, tipologia e materiale degli elementi strutturali, caratteristiche idro-geomorfologiche del territorio, schemi geometrici di massima
- *schede di valutazione dei difetti (difettologiche) per ogni elemento del ponte*
- *schede di valutazione dei difetti (difettologiche) per elementi accessori*

SCHEDE DI VALUTAZIONE DEI DIFETTI PER OGNI ELEMENTO DEL PONTE



Livello 1

Prima di organizzare l'ispezione per la compilazione della scheda difettologica devono essere note le seguenti informazioni di base sulla struttura già raccolte nella scheda L0:

- localizzazione dell'opera
- estensione dell'opera in lunghezza (importante per organizzare l'ispezione e valutare il tempo necessario)
- sistema attraversato (strada, corso d'acqua, ferrovia)
- distanza dell'impalcato dal suolo (importante per capire l'ispezionabilità di pile, appoggi, intradosso e prospetto dell'impalcato)
- tipo di struttura (schema statico e materiali)
- componenti strutturali presenti (pile, travi, spalle, arco, soletta, selle Gerber, appoggi, altro)
- componenti non strutturali (giunti di dilatazione, barriera di sicurezza, altro)
- anno di costruzione (importante per inquadrare la tecnologia e il degrado)
- eventuali interventi di manutenzione/adeguamento già realizzati
- difetti tipici attesi per la tipologia strutturale per ciascun componente

Durante l'ispezione si deve fare attenzione al riconoscimento dei vari difetti, alla causa che li ha prodotti, alla stima della velocità di evoluzione e delle ricadute sulla sicurezza strutturale:

- i **difetti** devono essere individuati per **estensione** ed **intensità**
- le **foto** devono essere **in numero limitato** considerando solo i fenomeni più importanti, inquadrando la posizione del difetto nella struttura in modo da visualizzarne l'estensione e l'intensità nel confronto con le parti non danneggiate

Schede descrittive di ispezione ponti di Livello 1

Strada di appartenenza: _____

Progressiva km: _____

Tecnico rilevatore: _____

Data ispezione: _____

Localizzazione

Provincia/Regione: _____

Comune: _____

Località: _____

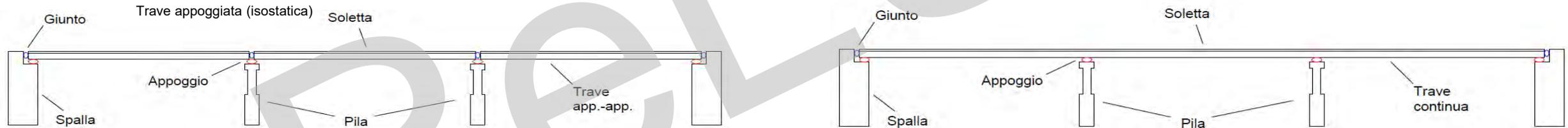
Coordinate Geografiche <input type="radio"/> ETRF2000 <input type="radio"/> WGS84	Centro	Quota s.l.m. [m]: _____ Longitudine: _____ Latitudine: _____
	Iniziale	Quota s.l.m. [m]: _____ Longitudine: _____ Latitudine: _____
	Finale	Quota s.l.m. [m]: _____ Longitudine: _____ Latitudine: _____

Schede descrittive di ispezione ponti di Livello 1

Tipologia strutturale

<input type="radio"/> Arco Massiccio	<input type="radio"/> Travate appoggiate	<input type="radio"/> Travate continue/Telaio	<input type="radio"/> Soletta appoggiata	<input type="radio"/> Soletta incastrata
<input type="radio"/> Arco sottile	<input type="radio"/> Travate Gerber/Ponti a stampella con travi tampone		<input type="radio"/> Sezione tubolare	<input type="radio"/>
<input type="radio"/> Strallato o sospeso	<input type="radio"/> Altro _____		<input type="radio"/> Travate in c.a.p. a cavi post-tesi	

Schema isostatico | Schema iperstatico



Ulteriori dettagli saranno forniti nelle lezioni dedicate alle diverse tipologie

Schede descrittive di ispezione ponti di Livello 1

Impalcato - Materiale costruttivo

- Muratura C.a. C.A.P. Acciaio Misto (C.a./acciaio)
 Legno Altro: _____

Tipologia delle Fondazioni

- Fondazioni dirette Fondazioni Indirette
 Murature
 Pile in alveo
 Non nota

Classificazione delle vie di attacco

- Rilevato in terra
 Rilevato in terra rinforzata/armata
 Rilevato in golena
 Su roccia
 Viadotto in pendenza/curva
 Altro: _____

Dati Geomorfologici

Morfologia del sito

- Cresta Pendio dolce (0 - 10°)
 Pendio moderato (10° - 25°) Pendio ripido (> 25°)
 Pianura Pianura alla base dei versanti

Tipologia di ente scavalcato

- Corso d'acqua Zona edificata
 Specchio d'acqua marina Zona urbanizzata
 Discontinuità orografica (vallata, piccoli canali, ecc.) Altra via di comunicazione
 Ferrovia Altro: _____

Schede descrittive di ispezione ponti di Livello 1

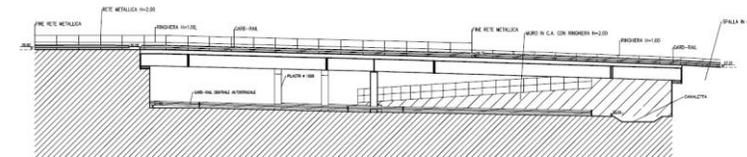
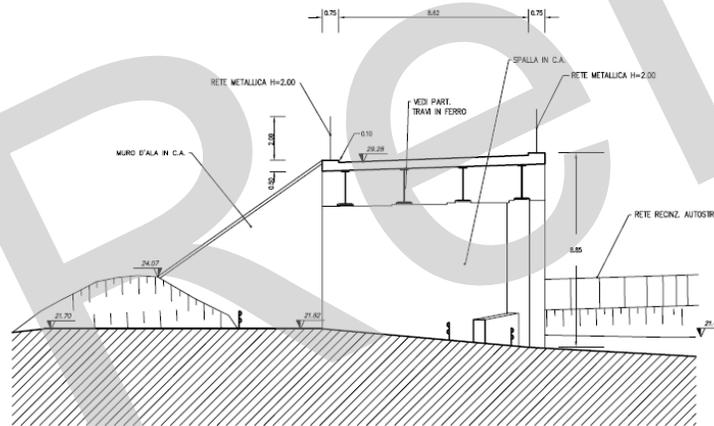
Indicare, ai fini della classificazione, se l'ente scavalcato:

- Prevede affollamenti significativi e/o ha funzioni pubbliche e sociali essenziali e/o la cui interruzione provochi situazioni di emergenza e/o ha elevato valore naturalistico, economico e sociale (Ferrovia, zona edificata/antropizzata, strade a viabilità primaria, etc.)
- Prevede normali affollamenti, senza funzioni pubbliche e sociali essenziali, la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza e/o ha limitato valore naturalistico, economico e sociale (strade a viabilità secondaria, corsi d'acqua, laghi, specchi d'acqua marini, etc.)
- Prevede presenza occasionale di persone e privo di valore naturalistico, economico e sociale (discontinuità naturali, depressioni del terreno, etc.)

Schemi geometrici

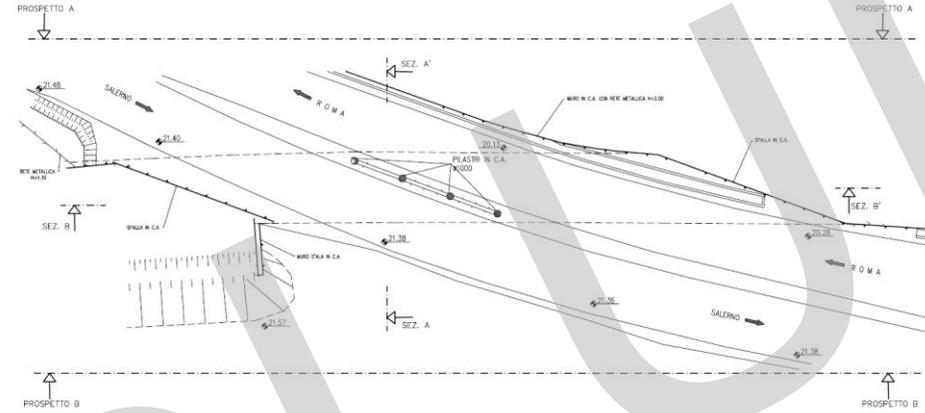
Sezione trasversale

Sezione longitudinale



Schede descrittive di ispezione ponti di Livello 1

Pianta



Rilevo caratteristiche geometriche

Luce complessiva (spalla – spalla) [m]:	_____	N° campate:	_____
Luce media campata [m]:	_____	Altezza max pile [m]:	_____
Luce massima campata [m]:	_____	Larghezza impalcato [m]:	_____
Lunghezza sbalzo soletta [m]:	_____	(dalla sede stradale)	_____
		Presenza di curve:	_____

Schede descrittive di ispezione ponti di Livello 1

Materiale	Tipologia elementi strutturali		
	Spalle n° elementi	Pile n° elementi	Impalcato n° campate
C.A.			
C.A.P.			
Acciaio			
Acciaio – Calcestruzzo			
Muratura			
Legno			
Altro			

Elemento strutturale	n° elementi totali	Tipologia elementi strutturali IMPALCATO						
		C.A.	C.A.P.	Acciaio	Acciaio - Calcestruzzo	Muratura	Legno	Altro
Soletta [n° campate]								
Travi [n° elementi]								
Traversi [n° elementi]								
Arco [n° elementi]								
Altro								

Apparecchi di appoggio

Assenti

<input type="radio"/> Presenti	Tipo di apparecchi		n° apparecchi tot	
	n° apparecchi rilevabili		Nessun apparecchio visibile	

Schede descrittive di ispezione ponti di Livello 1

Elementi Critici

Elementi critici - Vulnerabilità strutturale e fondazionale (vedi § 3.3 delle Linee Guida)

<input type="radio"/>	Assenti			
<input type="radio"/>	Presenti	<input type="radio"/>	Condizioni tali da non doverli segnalare immediatamente (assenza di uno stato di degrado avanzato)	Tipologia di elemento
		<input type="radio"/>	Condizioni tali da doverli segnalare immediatamente (presenza di uno stato di degrado avanzato)	Stato di degrado (descrizione sintetica)
		<input type="radio"/>	Non ispezionabili	

Vulnerabilità strutturale-fondazionale: le selle Gerber, i cavi da precompressione, quadri fessurativi molto estesi ed intensi, meccanismi di incipiente perdita di appoggio o cinatismi in atto, giunzioni di elementi chiave per la staticità del ponte, scalzamento delle fondazioni



Schede descrittive di ispezione ponti di Livello 1

Elementi critici – Vulnerabilità sismica (vedi § 3.3 delle Linee Guida)

<input type="radio"/> Assenti				
<input type="radio"/> Presenti	<input type="radio"/>	Condizioni tali da non doverli segnalare immediatamente (assenza di uno stato di degrado avanzato)	Tipologia di elemento	
	<input type="radio"/>	Condizioni tali da doverli segnalare immediatamente (presenza di uno stato di degrado avanzato)	Stato di degrado (descrizione sintetica)	
	<input type="radio"/>	Non ispezionabili		

Nota: Si definiscono elementi critici gli elementi particolarmente soggetti ai fenomeni di degrado e i cui eventuali malfunzionamenti possono incidere significativamente sul comportamento strutturale o sismico globale del ponte, ovvero gli elementi o le condizioni per i quali la presenza di uno stato di degrado avanzato è da segnalare immediatamente. La presenza di elementi critici con stato di degrado avanzato comporta un livello di difettosità attuale alto.

Vulnerabilità sismica: apparecchi di appoggio molto degradati o danneggiati, sottostrutture caratterizzate da difettosità estesa e rilevante ai fini del comportamento sismico e, ancora, meccanismi di incipiente perdita di appoggio o cinematismi in atto



Piastra superiore deformata



Invecchiamento neoprene (appoggio su sella Gerber)



Fuori sede rulli

Schede descrittive di ispezione ponti di Livello 1

Elementi di vulnerabilità sismica (vedi § 4.3.3 delle Linee Guida)

- Assenti
- Presenti (influenti sul comportamento sismico)

Descrizione:



La presenza di ulteriori parametri di vulnerabilità sismica che caratterizzano specificatamente lo schema strutturale del ponte, quali impalcati sghembi o in curva, pile a singola colonna o con altezza molto disuniforme, presenza di appoggi particolarmente soggetti a degrado o comunque situazioni che determinano concentrazioni di sforzo, moti rotazionali o quant'altro costituisce un aggravante alla vulnerabilità del ponte è da tenersi in debito conto.

Schede descrittive di ispezione ponti di Livello 1

L'eventuale esposizione dell'opera a correnti di vento marine ("aerosol marini") o all'azione aggressiva dei sali antigelo è influente ai fini della classificazione in quanto può

Esposizione a correnti di vento marini (aerosol marini) o all'azione aggressiva di sali antigelo

- SI
 NO
 Tale da determinare una maggiore rapidità del degrado

determinare una maggiore rapidità di evoluzione del degrado.

Informazioni Ispezione

Possibilità di accedere al di sotto del ponte SI NO PARZIALE (n° campate completamente ispezionate = _____)

Ispezionati entrambi i prospetti SI NO

Prospetto Ispezionato: _____



Livello 1 – schede di valutazione dei difetti

Sono previste schede di valutazione dei difetti differenziate per ogni tipologia di elementi costituenti il ponte e materiale di realizzazione (spalle in c.a., spalle in muratura, travi e traversi in c.a., ecc.).

Per ciascun difetto va indicato il peso, l'intensità e l'estensione. Per difetti più gravi ($G = 4$ e $G = 5$) è possibile segnalare che la presenza di tale difetto possa pregiudicare la statica dell'opera (casella "PS").



Le schede di valutazione dei difetti fanno riferimenti ai *codici difetti*

Scheda Ispezione Ponti di Livello 1

2	Spalle N _____ Strada di appartenenza: _____ Progressiva km: _____	 Mims Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili													
	Muratura Tecnico rilevatore: _____ Data ispezione: __/__/__														
Codice difetto	Descrizione difetto	visto	G	Estensione K1			Intensità K2			N° foto	PS	NA	NR	NP	Note
				0,2	0,5	1	0,2	0,5	1						
Mur_1	Fessure orizzontali	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

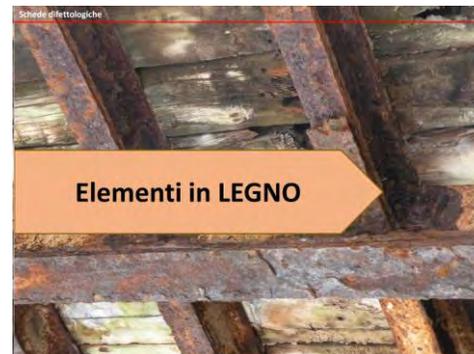
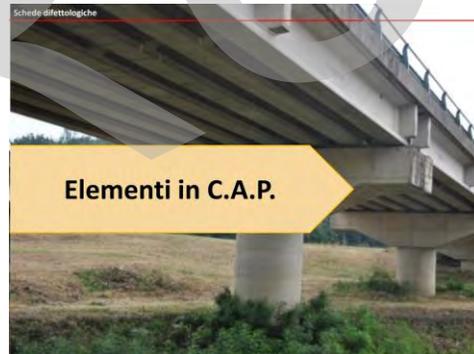
RELUIS

Le schede di valutazione dei difetti fanno riferimenti ai *codici difetti*

Scheda Ispezione Ponti di Livello 1

2	Spalle N _____ Strada di appartenenza: _____ Progressiva km: _____	 Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili													
	Muratura Tecnico rilevatore: _____ Data ispezione: ____/____/____														
Codice difetto	Descrizione difetto	visto	G	Estensione K1			Intensità K2			N° foto	PS	NA	NR	NP	Note
				0,2	0,5	1	0,2	0,5	1						
Mur_1	Fessure orizzontali	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

Le schede difettologiche (Allegato C del D.M. 204) descrivono i difetti da rilevare in sede di ispezione e i criteri per l'individuazione dei parametri da assegnare. Le schede difettologiche sono divise in macro-gruppi, per esempio in funzione del materiale su cui il difetto può manifestarsi.



Schede difettologiche

120 tipologie di difetti codificati con un codice alfanumerico e raggruppati in categorie

Apparecchi di APPOGGIO

Rilevati e Fondazioni

Difetti Generici
(Riscontrabili su tutti i materiali)

GIUNTI

ELEMENTI ACCESSORI

Schede di ispezione speciale:
ponti in c.a.p. a cavi post-tesi

Le schede di valutazione dei difetti fanno riferimenti ai *codici difetti*

Scheda Ispezione Ponti di Livello 1

2	Spalle N _____ Strada di appartenenza: _____ Progressiva km: _____	 Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibile													
	Muratura Tecnico rilevatore: _____ Data ispezione: ____/____/____														
Codice difetto	Descrizione difetto	visto	G	Estensione K1			Intensità K2			N° foto	PS	NA	NR	NP	Note
				0,2	0,5	1	0,2	0,5	1						
Mur_1	Fessure orizzontali	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

Ogni scheda è riferita ad uno specifico difetto (codice difetto).

Schede difettologiche

N° difetto: **Mur_1**

Fessure orizzontali

Peso del difetto

G = 1 G = 2 **G = 3** G = 4 G = 5

Estensione k1	0,2 (rispetto alla lunghezza significativa)	0,5 (rispetto alla lunghezza significativa)	1 (rispetto alla lunghezza significativa)
Intensità kz	0,2 (capillare)	0,5 (qualche mm)	1 (qualche cm)

Descrizione

Questo tipo di difetto è riferito alle fessure con andamento prevalentemente orizzontale che possono manifestarsi sugli elementi verticali come spalle e pile e, nel caso dei ponti ad arco, su rinfianchi e timpani. Esse si sviluppano principalmente lungo



- **G** rappresenta la gravità del difetto e conseguentemente il peso che esso avrà nella valutazione. Può assumere un valore numerico intero compreso tra 1 e 5 in funzione della possibilità di ridurre la capacità portante, di costituire un pericolo, del rischio di innescare altri difetti e dell'onere economico per il ripristino.
- **K1** è il coefficiente di estensione del difetto e può assumere il valore 0.2, 0.5 oppure 1, in base alla sua estensione sull'elemento strutturale. Con valore unitario si intende che il difetto interessa l'intera superficie o lunghezza dell'elemento strutturale.
- **K2** è il coefficiente di intensità e può assumere il valore 0.2, 0.5 oppure 1, in base alla sua intensità sull'elemento strutturale.

Le istruzioni operative per l'applicazione delle LL.G. chiariscono operativamente alcune diciture frequentemente impiegate nelle schede:

- L'estensione si può determinare mediante il coefficiente k_1 , riportato nelle schede di valutazione dei difetti. L'estensione si può ricondurre generalmente a due distinti casi:

- difetto con sviluppo lineare (fessure, lesioni, difetti in corrispondenza dei giunti, inflessione di una trave...) in cui il parametro k_1 può essere quantificato valutando criticamente il seguente rapporto:

$$\frac{\text{lunghezza complessiva del difetto}}{\text{lunghezza della campata o della sezione di riferimento}}$$

- difetto con sviluppo areale (deterioramenti, distacchi, etc.) in cui il parametro k_1 può essere valutato secondo la seguente espressione:

$$\frac{\text{area complessiva del difetto}}{\text{area della campata o dell'elemento strutturale di riferimento}}$$

In particolare: al termine "estensione bassa" corrisponde un valore di k_1 minore o uguale a 0.2 (nelle schede di difettosità allegate alle LG barrare la casella a cui è associato il valore 0.2); per "estensione media" si intende un valore di k_1 maggiore di 0.2 e minore o uguale a 0.5 (nelle schede di difettosità barrare la casella a cui è associato il valore 0.5); al termine "estensione alta" corrisponde un valore di k_1 maggiore di 0.5 e minore o uguale a 1 (nelle schede di difettosità barrare la casella a cui è associato il valore 1).

Con la dicitura "estensione qualsiasi" si considerano tutti i livelli di estensione (k_1 variabile tra 0 e 1).



Sfogliamento vernice

Estensione k_1	0,2 (appena presente)	0,5 (~50% superficie)	1 (~tutta la superficie)
------------------	-----------------------	-----------------------	--------------------------

In funzione dell'area della superficie colpita dal difetto

Lesioni in corrispondenza delle staffe

Estensione k_1	0,2 (in poche zone)	0,5 (~50% lunghezza)	1 (~intera lunghezza)
------------------	---------------------	----------------------	-----------------------

In funzione della lunghezza lungo cui il difetto si sviluppa

Bulloni tranciati

Estensione k_1	0,2 (un bullone)	0,5 (più bulloni su un elemento)	1 (più bulloni su più elementi)
------------------	------------------	----------------------------------	---------------------------------

In funzione del numero di elementi colpiti dal difetto

- L'intensità si può determinare mediante il coefficiente k_2 , riportato nelle schede di valutazione dei difetti. L'intensità è possibile definirla a partire dalla descrizione del singolo difetto riportata, ad esempio, nelle schede allegate alle LLGG e dipende dall'entità del difetto in dipendenza delle dimensioni o delle caratteristiche dell'elemento strutturale (entità della sezione corrosa in relazione al diametro, ampiezza della fessura, etc.).

In particolare: al termine "intensità bassa" corrisponde un valore di k_2 minore o uguale a 0.2 (nelle schede di difettosità allegate alle LLGG barrare la casella a cui è associato il valore 0.2); per "intensità media" si intende un valore di k_2 maggiore di 0.2 e minore o uguale a 0.5 (nelle schede di difettosità barrare la casella a cui è associato il valore 0.5); al termine "intensità alta" corrisponde un valore di k_2 maggiore di 0.5 e minore o uguale a 1 (nelle schede di difettosità barrare la casella a cui è associato il valore 1).

Con la dicitura "intensità qualsiasi" si considerano tutti i livelli di intensità (k_2 variabile tra 0 e 1).

Le Linee Guida prevedono la compilazione di una scheda di difettosità per ogni elemento costituente l'opera

1		Spalle N _____ Strada di appartenenza: _____ Progressiva km: _____		Calcestruzzo		Tecnico rilevatore: _____ Data ispezione: ____/____/____																
Codice difetto	Descrizione difetto	visio	G	Estensione K1	Intensità K2	N°	PS	NA	NR	NP												
c.a./c.a.p._1	Macchie di umidità passiva	<input type="checkbox"/>	1																			
c.a./c.a.p._2	Macchie di umidità attiva	<input type="checkbox"/>	3																			
Dif. Gen_1	Tracce di scolo	<input type="checkbox"/>	3																			
c.a./c.a.p._3	Cls dilavato / ammalorato	<input type="checkbox"/>	3																			
Dif. Gen_2	Ristagni d'acqua	<input type="checkbox"/>																				
3		Pile N _____ Strada di appartenenza: _____ Progressiva km: _____		Calcestruzzo		Tecnico rilevatore: _____ Data ispezione: ____/____/____																
Codice difetto	Descrizione difetto	visio	G	Estensione K1	Intensità K2	N°	PS	NA	NR	NP												
c.a./c.a.p._1	Macchie di umidità passiva	<input type="checkbox"/>	1																			
15		Travi/Traversi N _____ Strada di appartenenza: _____ Progressiva km: _____		C.A.P.		Tecnico rilevatore: _____ Data ispezione: ____/____/____																
N°	Descrizione difetto	visio	G	Estensione K1	Intensità K2	N°	PS	NA	NR	NP	Note											
c.a./c.a.p._1	Macchie di umidità passiva	<input type="checkbox"/>	1																			
c.a./c.a.p._2	Macchie di umidità attiva	<input type="checkbox"/>	3																			
Dif. Gen_1	Tracce di scolo	<input type="checkbox"/>	3																			
c.a./c.a.p._3	Cls dilavato / ammalorato	<input type="checkbox"/>	3																			
c.a./c.a.p._4	Vespai	<input type="checkbox"/>	2																			
c.a./c.a.p._5	Distacco del copri ferro	<input type="checkbox"/>	2																			
c.a./c.a.p._6	Armatura ossidata / corrosa	<input type="checkbox"/>	5																			
c.a./c.a.p._7	Lesioni a ragnatela modeste	<input type="checkbox"/>	1																			
c.a./c.a.p._10	Fessure diagonali	<input type="checkbox"/>	5																			
c.a./c.a.p._18	Fessure longitudinali	<input type="checkbox"/>	2																			
c.a./c.a.p._19	Fessure trasversali	<input type="checkbox"/>	5																			
c.a./c.a.p._25	Lesioni attacco trave-soletta	<input type="checkbox"/>	2																			
c.a./c.a.p._12	Riprese successive deteriorate	<input type="checkbox"/>	1																			
Eventuali note																						
c.a.p_10	Umidità dall'interno	<input type="checkbox"/>	2																			
c.a.p_11	Arm. Scoperta / ossidata testate	<input type="checkbox"/>	2																			
c.a.p_12	Fuoriuscita barre ancoraggio	<input type="checkbox"/>	5																			
Dif. Gen_3	Danni da urto	<input type="checkbox"/>	4																			
c.a./c.a.p._17	Armatura longitudinale deformata	<input type="checkbox"/>	5																			
c.a./c.a.p._24	Difetti nelle selle Gerber	<input type="checkbox"/>	5																			
Eventuali note																						

- **Campata 1**
 Spalla 1
 Pila 1, 2, ..., N
 Travi 1, 2, ..., N
 Traversi 1, 2, ..., N
 Appoggi 1, 2, ..., N
 Soletta
 Giunti
- **Campata 2**
 Pila 1, 2, ..., N
 Travi 1, 2, ..., N
 Traversi 1, 2, ..., N
 Appoggi 1, 2, ..., N
 Soletta
 Giunti
- **Campata N**
 Pila 1, 2, ..., N
 Travi 1, 2, ..., N
 Traversi 1, 2, ..., N
 Appoggi 1, 2, ..., N
 Soletta
 Giunti

Schede di valutazione dei difetti

N°	Descrizione difetto	visto	G	Estensione K ₁			Intensità K ₂			N° foto	PS	NA	NR	NP	Note
				0,2	0,5	1	0,2	0,5	1						
c.a./c.a.p._1	Macchie di umidità passiva	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
c.a./c.a.p._2	Macchie di umidità attiva	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Dif. Gen_1	Tracce di scolo	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
c.a./c.a.p._3	Cls dilavato / ammalorato	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
c.a./c.a.p._21	Cls dilavato / ammalorato Testate	<input type="checkbox"/>	4			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>						
Dif. Gen_2	Ristagni d'acqua	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Dif. Gen_5	Ristagni d'acqua nei cassoni	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
c.a./c.a.p._4	Vespai	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
c.a./c.a.p._5	Distacco del copriferro	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
c.a./c.a.p._6	Armatura ossidata/corrosiva	<input type="checkbox"/>	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
c.a./c.a.p._15	Lesioni in corrispondenza staffe	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
c.a./c.a.p._7	Lesioni a ragnatela modeste	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
c.a./c.a.p._10	Fessure diagonali	<input type="checkbox"/>	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		



- Valutazione e descrizione dei difetti relativi all'elemento analizzato all'interno di una singola scheda
- Inserimento foto del difetto in allegati esterni
- Valutazione di intensità ed estensione su range differenti riportata in modo numerico
- Possibilità di esprimere un giudizio di massima circa il difetto (pregiudica o meno la statica dell'opera)

Legenda

PS	Pregiudica Statica	<i>spuntare se si ritiene che la presenza del difetto possa compromettere la statica dell'opera. È associato ai soli difetti di gravità 4 e 5</i>
NA	Non Applicabile	<i>spuntare se il difetto non è applicabile alla tipologia di manufatto in esame</i>
NR	Non Rilevabile	<i>spuntare se il difetto non si può rilevare mediante ispezione visiva (es. per presenza di vegetazione invasiva, zone non accessibili, ecc.)</i>
NP	Non Presente	<i>spuntare se il difetto non è stato rilevato</i>
N° FOTO	<i>Si riporti la numerazione digitale delle foto effettuate allo specifico difetto. Queste ultime sono adeguatamente catalogate, numerate e provviste di didascalie, riportanti la tipologia di difetto che si intende rappresentare e la sua localizzazione nel complesso strutturale; è necessaria, inoltre, una mappatura dei punti di ripresa fotografici.</i>	

Esempio di compilazione della scheda di valutazione difetti della trave di un viadotto.

Codice difetto	Descrizione difetto	visto	G	Estensione K ₁			Intensità K ₂			N° Foto	PS	NA	NR	NP	Note
				0.2	0.5	1	0.2	0.5	1						
14	Travi/Traversi N _____ Strada di appartenenza: _____ Progressiva km: _____ C.a. _____ Tecnico rilevatore: _____ Data ispezione: __/__/__														
c.a./c.a.p._1	Macchie di umidità passiva	X	1	X				X	177 a 180,182 e 183					Intradosso	
c.a./c.a.p._2	Macchie di umidità attiva	X	3		X			X	177 a 180,182 e 183					Intradosso	
Dif. Gen_1	Tracce di scolo	X	3	X				X	175 e 176						
c.a./c.a.p._3	Calcestruzzo dilavato/ammalorato	X	3	X				X	177 a 181,192 a 194					177 a 181 Intr., 192 a 194 Par.Vert.	
c.a./c.a.p._21	Calcestruzzo dilavato/ammalorato testate	X	4										X		
Dif. Gen_2	Ristagni d'acqua	X	2									X			
Dif. Gen_5	Ristagni d'acqua nei cassoni	X	4										X		
c.a./c.a.p._4	Vespai	X	2										X		
c.a./c.a.p._5	Distacco del copriferro	X	2										X		
c.a./c.a.p._6	Armatura ossidata e/o corrosa	X	5										X		
c.a./c.a.p._15	Lesioni in corrispondenza delle staffe	X	2										X		
c.a./c.a.p._7	Lesioni a ragnatela modeste	X	1	X				X	184 e 185						
c.a./c.a.p._10	Fessure diagonali	X	5										X		
c.a./c.a.p._19	Fessure trasversali	X	5										X		
c.a./c.a.p._18	Fessure longitudinali	X	2	X			X		186 a 190						
c.a./c.a.p._22	Lesioni distacco travi/traversi	X	3								X				
c.a./c.a.p._16	Staffe scoperte/ossidate	X	3										X		
c.a./c.a.p._23	Rottura staffe	X	4										X		
c.a./c.a.p._12	Riprese successive deteriorate	X	1										X		
Dif. Gen_3	Danni da urto	X	4										X		
c.a./c.a.p._17	Armatura longitudinale deformata	X	5										X		

20 schede di valutazione dei difetti

17 tipologie di schede dipendenti dal materiale e dall'elemento

Spalle

1. Calcestruzzo armato
2. Muratura

Pile

1. Calcestruzzo armato
2. Muratura
3. Acciaio o Metallo

Piedritti

1. Calcestruzzo armato
2. Acciaio o Metallo

Travi

1. Calcestruzzo armato
2. Calcestruzzo armato precompresso
3. Acciaio o Metallo
4. Legno

Archi

1. Calcestruzzo armato
2. Muratura
3. Acciaio
4. Legno

Soletta

1. Calcestruzzo armato
2. Legno

1	Spalle	Calcestruzzo armato
2	Spalle	Muratura
3	Pile	Calcestruzzo armato
4	Pile	Muratura
5	Pile	Acciaio o Metallo
6	Apparecchi di appoggio	
7	Giunti	
8	Piedritti	Calcestruzzo Armato
9	Piedritti	Acciaio o Metallo
10	Archi	Calcestruzzo Armato
11	Archi	Muratura
12	Archi	Acciaio
13	Archi	Legno
14	Travi	Calcestruzzo Armato
15	Travi	Calcestruzzo Armato Precompresso
16	Travi	Acciaio o Metallo
17	Travi	Legno
18	Soletta	Calcestruzzo Armato
19	Soletta	Legno
20	Elementi Accessori	

3 tipologie di schede dipendenti dall'elemento

ALTRI ELEMENTI

1. Apparecchi di appoggio
2. Giunti
3. Elementi accessori

3.2 SCHEDE DI RILIEVO E VALUTAZIONE DEI DIFETTI

In sede di ispezione visiva, oltre ad un accurato rilievo fotografico e ad un rilievo geometrico delle dimensioni principali dell'opera (laddove possibile), è eseguito il rilievo dello stato di conservazione della struttura, finalizzato ad individuare, evidenziare e segnalare, in apposite schede, i fenomeni di degrado ed i difetti presenti. La compilazione di schede permette di indicare la presenza di specifici fenomeni di degrado e l'intensità e l'estensione con cui essi si manifestano. Le indicazioni riportate sulle schede sono poi utilizzate per la determinazione del livello di difettosità, uno dei principali parametri considerati nel metodo di classificazione di Livello 2.

Livello 1 – schede di valutazione dei difetti per elementi accessori

Una scheda apposita è dedicata agli elementi accessori caratterizzanti la carreggiata stradale al di sopra del ponte. Questi incidono sull'onere complessivo degli interventi di manutenzione e possono influenzare l'evoluzione del danno strutturale.

Scheda Ispezione Ponti di Livello 1

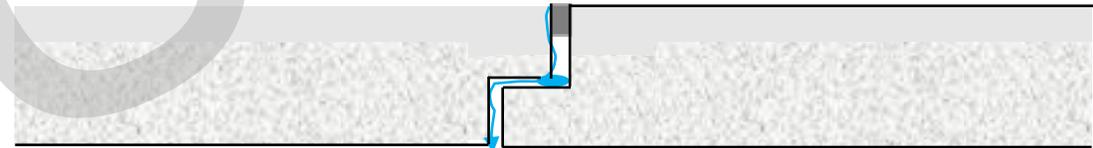
20	Elementi accessori (indicare solamente se il difetto è presente)			Mims Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili
	Strada di appartenenza:	Progressiva km:	Tecnico rilevatore:	
N° corsie				
Larghezza carreggiata				
Marciapiede	SI		NO	
	1 (solo su un lato)	2 (su entrambi i lati)		
Larghezza marciapiede				
Altezza marciapiede				

BARRIERE LATERALI			
<input type="checkbox"/>	CASO 1	Marciapiede assente	
<input type="checkbox"/>	CASO 2	Marciapiede sormontabile	
<input type="checkbox"/>	CASO 3	Marciapiede non sormontabile	

- Convogliamento acque assente
- Pozzetti intasati
- Scarichi corti/ostruiti/danneggiati
- Infiltrazioni da giunti



Elemento ispezionato	N°	Descrizione difetto	N° foto	Note
Stato della pavimentazione	El.Acc_1	Dislivello rilevato impalcato	<input type="checkbox"/>	
		Presenza di dossi	<input type="checkbox"/>	
		Fessure - anomalie	<input type="checkbox"/>	
Cordoli	El.Acc_2	Assenti	<input type="checkbox"/>	
		Degradati	<input type="checkbox"/>	
Convogliamento acque	El.Acc_3	Assenti	<input type="checkbox"/>	
	El.Acc_4	Pozzetti intasati	<input type="checkbox"/>	
	El.Acc_5	Scarichi corti	<input type="checkbox"/>	
	El.Acc_6	Scarichi ostruiti	<input type="checkbox"/>	
	El.Acc_7	Scarichi danneggiati	<input type="checkbox"/>	



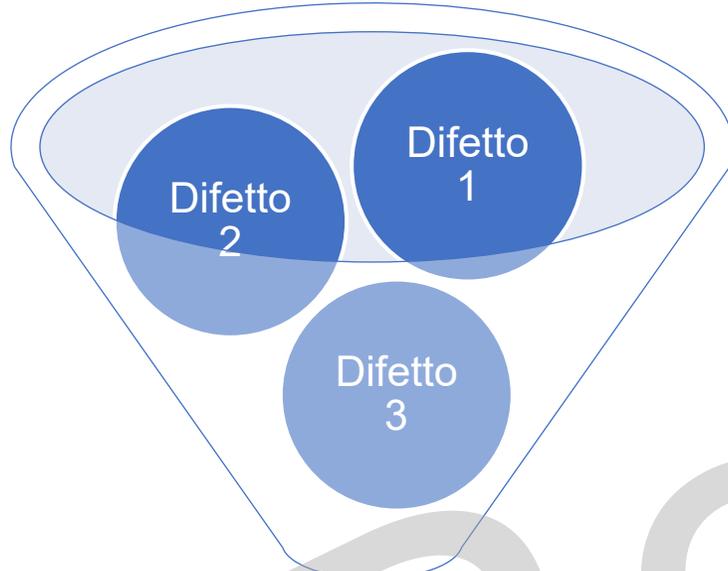
H₂O



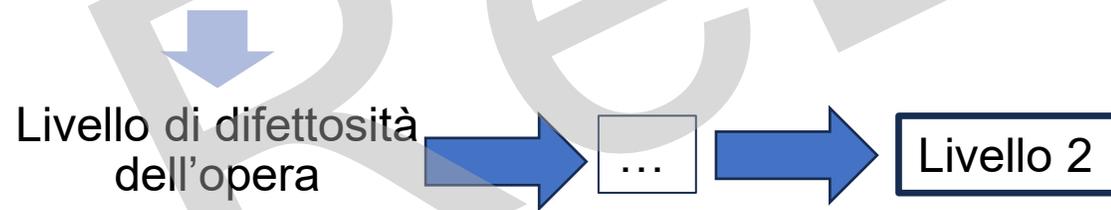
La difettosità di questi elementi ricade principalmente su quella dell'impalcato e della testa della pila



Livello 1 – schede di valutazione dei difetti

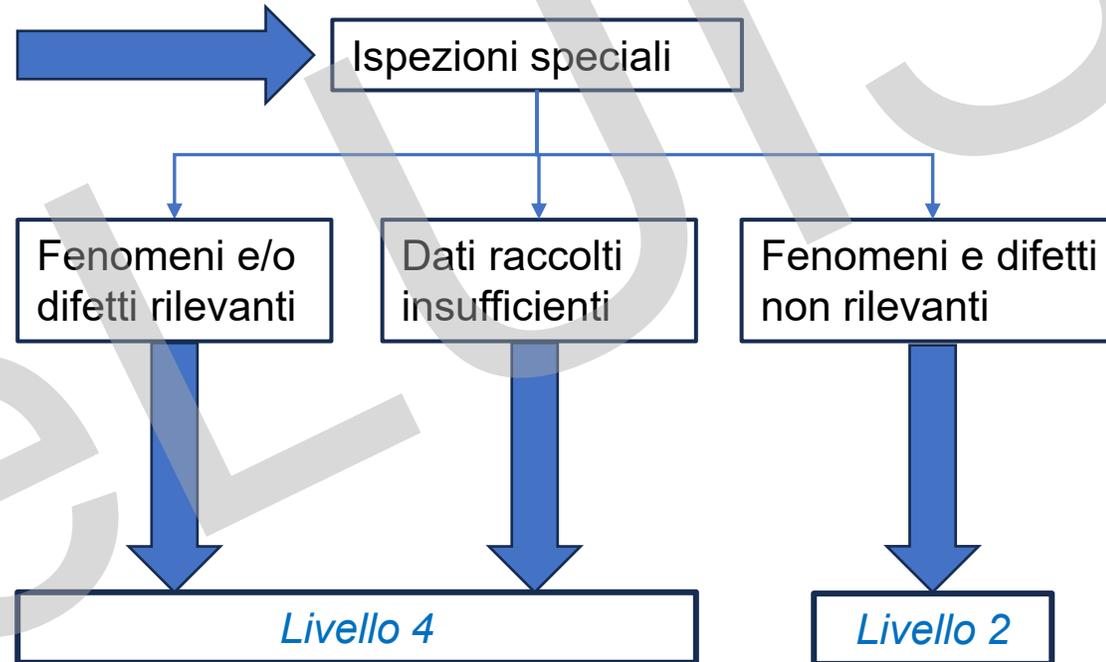


Le indicazioni riportate sulle schede sono poi utilizzate per la determinazione del livello di difettosità, uno dei principali parametri considerati nel metodo di classificazione di Livello 2.



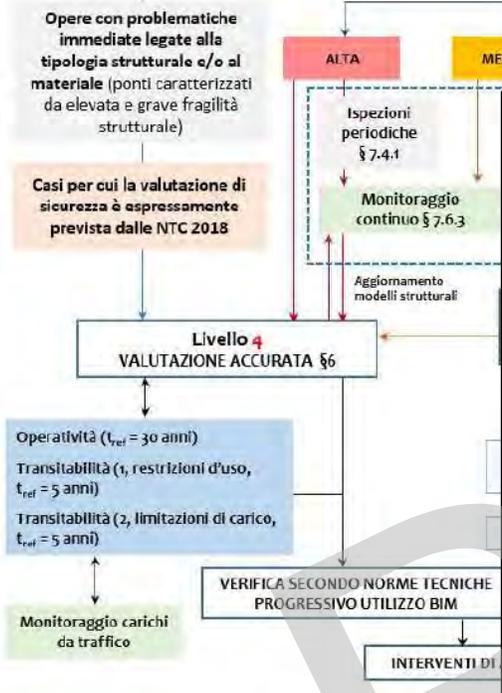
Livello 1 – Ispezioni speciali

- **Ponti in calcestruzzo armato precompresso a cavi post-tesi resi aderenti**
- e
- **Ponti in aree ad evidenza di fenomeni alluvionali, erosionali e franosi, o riconosciute ad elevato rischio idrogeologico, con evidenze di possibile interferenza con la struttura**





Ponti in c.a.p. a cavi post-tesi



Codice IOP _____ **Nome Ponte/Viadotto** _____

Strada di appartenenza: _____ **Progressiva km iniziale:** _____ **Progressiva km finale:** _____

Tracciato dei cavi e localizzazione dei difetti

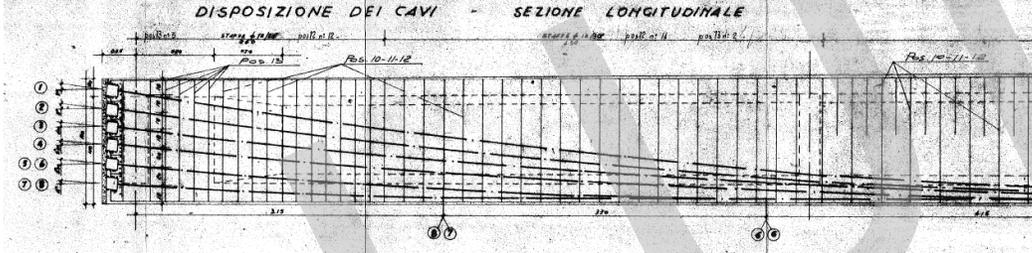
Tracciato dei cavi reperibile da documenti di progetto originale SI NO

Allegato n° _____ (se SI, indicare i documenti di riferimento da allegare alla presente scheda)

Schema da progetto del tracciato dei cavi
(tracciare uno schema per ogni tipologia di elemento strutturale)

Indagini non distruttive/semi-distruttive		Elementi indagati (tipologia e numero)	N° totale di indagini eseguite
Tipologie di indagini (indagine pacometriche, georadar, tomografie ultrasoniche, Impact-Echo, metodi MFL, misure di ponteziale di corrosione)	1) _____	_____	_____
	2) _____	_____	_____
	3) _____	_____	_____
	4) _____	_____	_____
	...) _____	_____	_____

Ponti in c.a.p. a cavi post-tesi

<p>Tracciato dei cavi</p> <p>Indicare la localizzazione delle indagini</p>	<p>Tipologia elemento indagato _____ Tipologia di indagine _____</p> <p><i>Schema del tracciato dei cavi:</i></p>  
<p>Rispondenza con il materiale di progetto originale <input type="radio"/> Completa <input type="radio"/> Parziale <input type="radio"/> Assente</p>	
<p>Localizzazione dei difetti (discontinuità, fessure, ecc.)</p> <p>Indicare la localizzazione delle indagini</p>	<p><i>Schema di localizzazione dei difetti:</i></p>

Ponti in c.a.p. a cavi post-tesi

Campagna di indagini per la valutazione dei difetti

Indagini semi-distruttive/distruttive		Elementi indagati (tipologia e numero)	N° totale di indagini eseguite
Tipologia di indagini <i>(endoscopie, indagini vacuometriche, saggi localmente distruttivi, ecc.)</i>	1) _____	_____	_____
	2) _____	_____	_____
	...) _____	_____	_____

Risultati delle indagini *(compilare una tabella per ogni elemento indagato e tipologia di indagine)*

Tipologia elemento indagato _____ Tipologia di indagine _____

Tipologie di difetti individuati _____

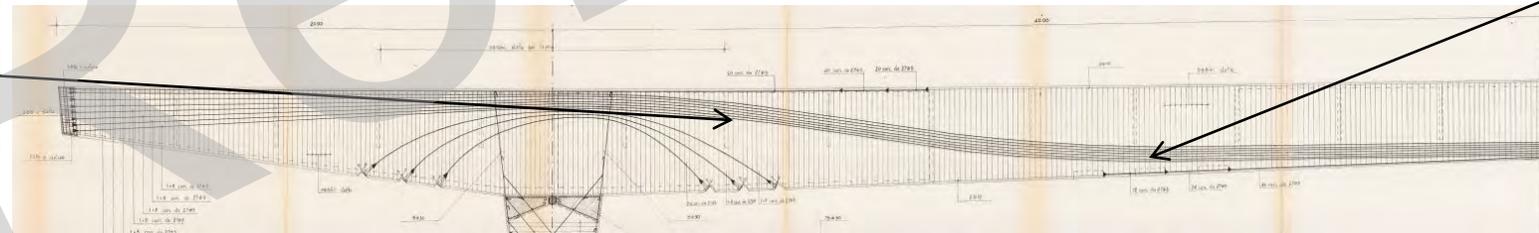


Localizzazione dei difetti

(vuoti all'interno delle guaine, fenomeni di ossidazione dei cavi, ecc.)

Indicare la localizzazione delle indagini

Schema di localizzazione dei difetti:

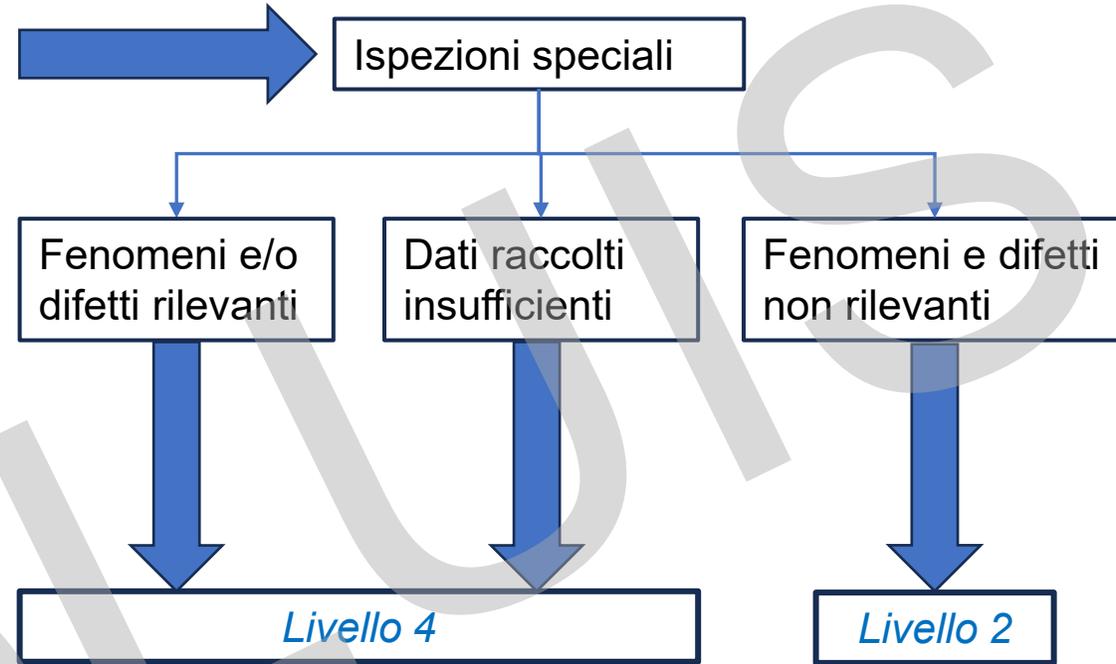


Ponti in c.a.p. a cavi post-tesi

Valutazione dello stato di tensione del filo o del calcestruzzo	Descrizione		Elementi indagati (tipologia e numero)		N° totale di misurazioni eseguite	
	_____		_____		_____	
	_____		_____		_____	
	<i>Schema di localizzazione delle indagini:</i>					
	Risultati: _____					
Rispondenza con il materiale di progetto originale			<input type="radio"/> SI		<input type="radio"/> NO	
Informazioni reperibili dal progetto originale: _____						
Prelievo di materiale di iniezione	Descrizione		Elementi indagati (tipologia e numero)		N° totale di prelievi eseguiti	
	_____		_____		_____	
	_____		_____		_____	
	<i>Schema di localizzazione delle indagini:</i>					
	Risultati: _____					
Prove chimiche	Tipologia		N° totale di prove eseguite		Risultati (composizione chimica e presenza di cloruri e umidità)	
	1) _____		_____		_____	
	2) _____		_____		_____	



Ponti in c.a.p. a cavi post-tesi



Analisi dei difetti rilevati	<input type="radio"/>	I difetti rilevati indicano la necessità di eseguire valutazioni di sicurezza approfondite di Livello 4.
	<input type="radio"/>	Le indagini effettuate non consentono di stimare con adeguata accuratezza l'entità dei difetti presenti. Sono necessarie, pertanto, valutazioni approfondite di Livello 4.
	<input type="radio"/>	Le indagini effettuate hanno dimostrato la presenza di difetti di entità modesta, tali da non richiedere provvedimenti urgenti. Si procede pertanto ad ispezioni visive e compilazione di schede di difettosità di Livello 1 e classificazione di Livello 2.

Ponti in aree ad evidenza di fenomeni alluvionali ed erosionali



Istruzioni Operative ANSFISA 3.6.1-3.6.2

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.6.1

Le ispezioni speciali dei ponti in aree ad evidenza di fenomeni alluvionali ed erosionali di cui al punto precedente riguardano:

- i ponti che hanno subito un evento alluvionale recente (ultimi 5 anni) che, come risultato da informazioni testimoniali e/o da tracce dell'evento di piena sulla struttura o sulle sponde, ha prodotto un franco inferiore a 1 m per strade comunali e provinciali, 2 m per strade statali o superiori, soprattutto se in presenza di materiale vegetale o di sovralluvionamento dell'alveo;
- i ponti le cui interferenze con i fenomeni di piena dei corsi d'acqua hanno provocato fenomeni erosivi tali da far temere una significativa perdita della capacità portante dell'insieme fondazione/terreno.

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.6.2

Le ispezioni speciali dei ponti in aree ad evidenza di fenomeni alluvionali dovranno prevedere approfondimenti di carattere idraulico volte alla determinazione di affidabili valori dei livelli del pelo libero relativi agli scenari P2 e P3.

Le ispezioni speciali riguardanti ponti con presenza di fenomeni erosivi saranno volte a rilevare eventuali cavità o aree a ridotta densità della porzione di terreno soggetto a stato tensionale per effetto della presenza della struttura.

In entrambi i casi dovranno essere previste misure in continuo o a cadenze regolari delle batimetriche in corrispondenza del ponte.

Ponti in aree ad evidenza di fenomeni alluvionali ed erosionali



Istruzioni Operative ANSFISA 3.6.3-3.6.4

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.6.3

Qualora le indagini svolte evidenzino insufficienza di franco idraulico al deflusso di portate almeno centennali si dovrà procedere a valutazioni di sicurezza approfondite, previste dal Livello 4 dell'approccio multilivello, assumendo come riferimento la parte delle presenti linee guida ad esse dedicate.

Qualora le indagini svolte evidenzino la presenza di cavità e/o aree a ridotta densità nella porzione di terreno che influenza la capacità portante si dovrà parimenti procedere a valutazioni di sicurezza approfondite, previste dal Livello 4 dell'approccio multilivello. Dove ritenuto necessario, occorre comunque prevedere immediati interventi di correzione dei difetti e di ripristino.

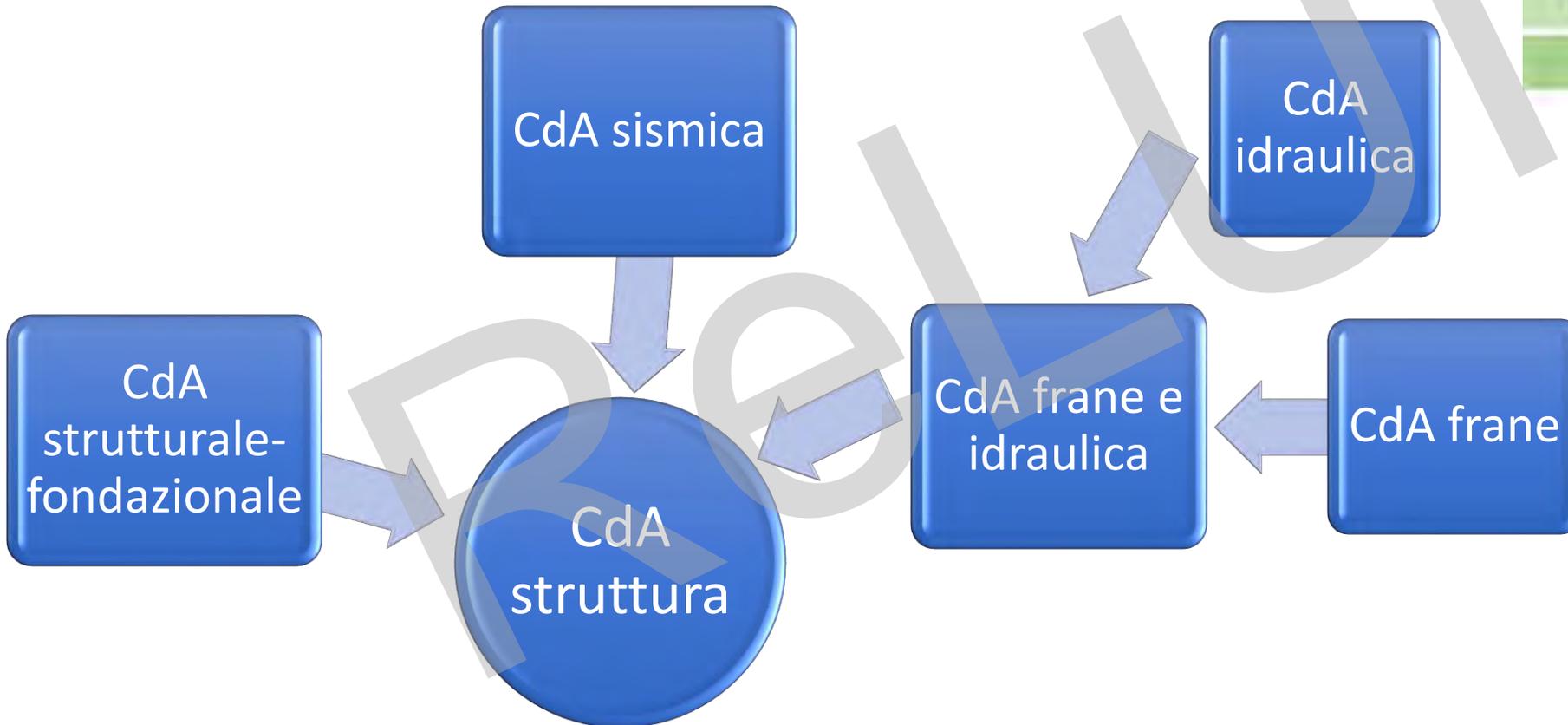
ISTRUZIONE OPERATIVA 3.6.4

Nel caso di ponti ricadenti in aree ad evidenza di fenomeni franosi è necessario procedere alle ispezioni speciali. Tali ispezioni devono consentire di stabilire l'esistenza di uno stato di sofferenza dell'infrastruttura che si possa ricollegare alla interazione con il fenomeno franoso. In particolare, le informazioni acquisibili mediante le ispezioni visive di Livello 1 dovranno essere integrate ad esempio con approfondimenti documentali, con prove in sito o con l'elaborazione di dati satellitari disponibili per l'area.

Nel caso in cui questo supplemento di indagine riveli l'esistenza di un significativo stato di sofferenza del ponte nel fenomeno franoso si procede con l'esecuzione diretta di valutazioni approfondite e di dettaglio di Livello 4. Qualora ciò non si verifichi, si procede, tenendo conto delle informazioni così acquisite, alla valutazione dei parametri primari e secondari relativi al rischio frane per l'assegnazione della CdA frane.

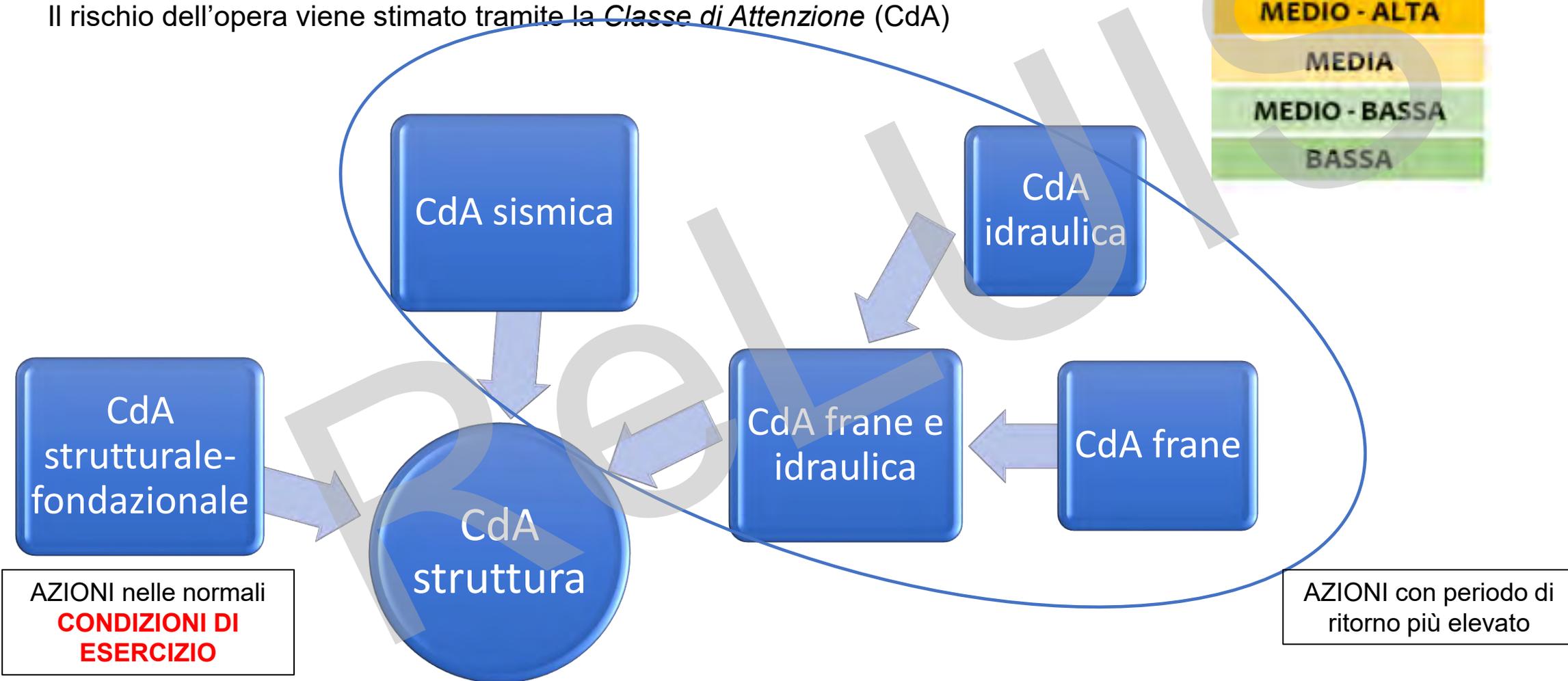
Livello 2

Il calcolo del rischio viene sostituito da un'analisi speditiva, semplice ed approssimata. Per questo si parla di cinque *Classi di Attenzione* (CdA) e non di rischio.



Livello 2

Il rischio dell'opera viene stimato tramite la *Classe di Attenzione* (CdA)



Livello 2

Per ciascun rischio, la CdA viene identificata applicando lo stesso processo logico

Pericolosità

Parametri primari



Parametri secondari



Livello pericolosità



Livello 2

Per ciascun rischio, la CdA viene identificata applicando lo stesso processo logico

Pericolosità

Parametri primari



Parametri secondari



Livello pericolosità



Vulnerabilità

Parametri primari



Parametri secondari



Livello vulnerabilità



Livello 2

Per ciascun rischio, la CdA viene identificata applicando lo stesso processo logico

Pericolosità

Parametri primari



Parametri secondari



Livello pericolosità



Vulnerabilità

Parametri primari



Parametri secondari



Livello vulnerabilità



Esposizione

Parametri primari



Parametri secondari



Livello Esposizione



Livello 2

Per ciascun rischio, la CdA viene identificata applicando lo stesso processo logico

Pericolosità

Parametri primari



Parametri secondari



Livello pericolosità



Vulnerabilità

Parametri primari



Parametri secondari



Livello vulnerabilità



Esposizione

Parametri primari



Parametri secondari



Livello Esposizione



I parametri primari e secondari sono noti dal Liv. 0 e Liv. 1 e variano a seconda del rischio considerato

Classe di attenzione



- **Livello 0:** è richiesto il **censimento** dalle informazioni rilevanti sul ponte.

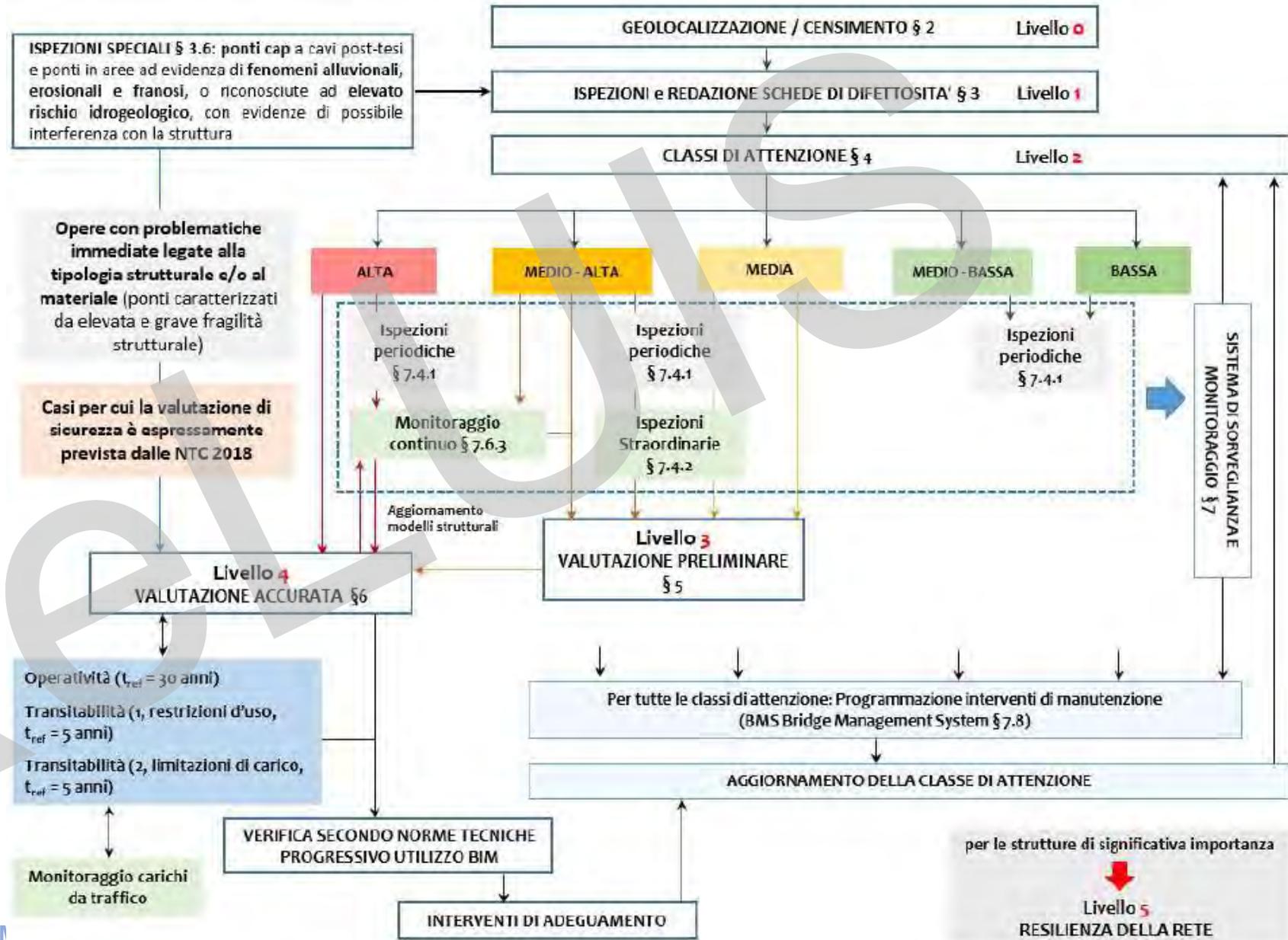
- **Livello 1:** sono condotte **ispezioni visive e rilievi** per individuare eventuali danni e compilare un rapporto di ispezione.

- **Livello 2:** la combinazione di dati relativi a pericolosità, vulnerabilità ed esposizione fornisce una valutazione semplificata della classe di attenzione del ponte, tenendo conto di più rischi.

- **Livello 3:** si applica in caso di classe di attenzione Medio e Medio-Alto: viene effettuata una **valutazione preliminare** della sicurezza strutturale.

- **Livello 4:** si applica in caso di classe di attenzione Alta o verifica di Livello 3 non soddisfatta: viene eseguita una verifica accurata di sicurezza secondo le NTC.

- Il **Livello 5** richiede uno studio specifico per la resilienza delle reti di ponti che non è trattato nell'attuale versione delle Linee Guida.



Livello 3 – Valutazione preliminare dell'opera

I dati raccolti nel Livello 1 consentono, tramite analisi di Livello 2, la valutazione della classe di attenzione complessiva dell'opera (Lezione 2). È quindi necessario passare ad una valutazione di livello 3 nel caso di CdA Media o Medio-Alta

OBIETTIVI:

- approfondire le problematiche osservate nelle ispezioni eseguite al Livello 1 individuandone le possibili cause
- valutare, se pur in una analisi preliminare approssimata, le risorse garantite dalle norme utilizzate all'epoca della progettazione dell'opera rispetto alle normative attualmente vigenti.



Salvo il caso di evidenti errori progettuali, valutare il rapporto tra la domanda indotta sui vari elementi che compongono il ponte dai carichi da traffico previsti dalle norme dell'epoca del progetto e la domanda ottenuta utilizzando i modelli di traffico previsti dalle norme attualmente vigenti.



Valutazione a carico del gestore della necessità di eseguire valutazioni accurate di Livello 4 e definizione di una priorità di analisi tra le opere.

Livello 4 – Verifica accurata della sicurezza

Prevede tutte le fasi necessarie per un'analisi completa:

- Conoscenza della struttura
- Modellazione
- Analisi e valutazione della sicurezza
- Progetto degli interventi e dei provvedimenti necessari

Esito della valutazione

Adeguate:

verifiche eseguite
secondo le NTC2018

Operativo

soddisfa le verifiche di sicurezza ma facendo riferimento nella valutazione dei fattori parziali relativi ai carichi e ai materiali ad un tempo di riferimento ridotto pari a 30 anni.

Transitabile

soddisfa le verifiche di sicurezza su un orizzonte temporale ridotto (5 anni), entro il quale si progettino e realizzino lavori di adeguamento o operatività, adottando i provvedimenti: (a) "limitazione dei carichi consentiti" o (b) "restrizione d'uso del ponte".

Banche dati nazionali e regionali

Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

Le linee guida per i ponti esistenti - Tipologie strutturali e analisi delle principali criticità

L1a - Introduzione alle linee guida

L1b - Ponti in cemento armato

L1c - Ponti in cemento armato precompresso

L1d - Ponti in muratura

L2a - Ponti in acciaio e composti acciaio-calcestruzzo

L2b - Pile e spalle

L2c - Selle Gerber

L2d - Dispositivi di appoggio

L2e - Introduzione alle schede difettologiche

La valutazione della classe di attenzione strutturale-fondazionale - scenari di casi studio. Ispezioni speciali e indagini in situ

L3a - Ponti in cemento armato

L3b - Ponti in cemento armato precompresso

L3c - Ponti ad arco in muratura

L4a - Ponti in acciaio e ponti composti acciaio-calcestruzzo

L4b - Ispezioni speciali e indagini in situ

Il monitoraggio nella sicurezza delle infrastrutture e la digitalizzazione

L5a - Applicazione di sistemi di monitoraggio

L5b - Gestione delle informazioni e modelli informativi digitali

Esercitazione

L6 - Esempi di compilazione in ambiente virtuale di schede di ispezione

Inquadrare gli aspetti dei materiali, della tecnologia, degli schemi statici che supportino il riconoscimento in sito degli eventuali difetti o danni e la loro importanza sulla sicurezza strutturale in modo da guidare l'applicazione delle linee guida soprattutto nel livello 1 di compilazione delle schede difettologiche

Contenuti:

3 macro argomenti per il c.a.

- 1) Informazioni sulla datazione della tecnologia, sulle procedure di realizzazione e sui materiali poiché questi aspetti si collegano ai tipi di difetti che probabilmente si sviluppano in questa tipologia strutturale
- 2) Inquadramento delle tipologie di ponti tipiche di diversi periodi di costruzione evidenziando aspetti che ne consentono il riconoscimento in sito e ne definiscono alcuni dettagli che si correlano ai tipi di difetti
- 3) Illustrazione dei "difetti" mettendo a fuoco la differenza tra danni indotti da sollecitazioni eccessive o azioni eccezionali e difetti dovuti a fenomeni di degrado cercando di dare alcune informazioni sul collegamento tra il difetto rilevato e la causa

← Antecedente al 1800 muratura →

← XIX Secolo Ferro – tecnologia industriale importata →



Ponte ad arco sul fiume Guardiana a Merida, Spagna, 60 archi 760 m. (Traiano 90-117)

Ponte Sant'Angelo a Roma, esempio tipico ad Arco in muratura (intorno al 136 d.C.)

1889 Ponte ad arco in ferro a Paderno d'Adda, delle Officine Savigliano, luce 150 m, altezza 80 m, lunghezza 260 m

1888 Ponte Palatino a Roma, in ferro tralicciato Warren

XX secolo - la nuova tecnologia : il «cemento armato», è adatta all'ingegneria civile e all'edilizia italiana



Ponte ad arco in cemento del 1902 sulla Bormida presso Millesimo, edificato da Porcheddu, campata 51m su 5,1m di alzata, rapporto alzata/campata: 1/10,

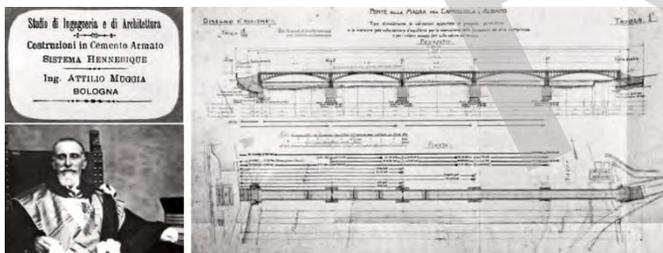


ue.

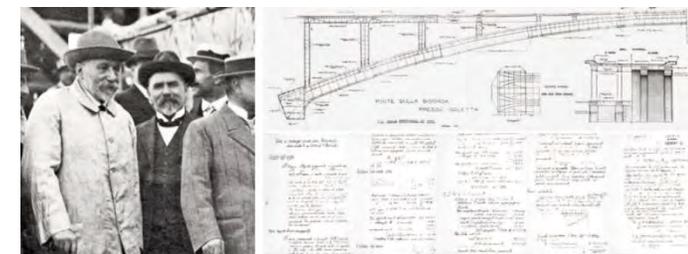
L'ingegneria civile italiana si è sviluppata nel XX e XXI secolo in tutti i materiali e le tecnologie di costruzione, anche se precedentemente sviluppate da altri, con la sua «peculiarità italiana»: Innovazione attraverso Design sostenibile ma accurato e accattivante, trovando soluzioni adeguate per ogni sito, mantenendo alta qualità e sicurezza strutturale. Le prime realizzazioni in «cemento armato» si ebbero già verso la fine del '700 e all'inizio del '800. Nel 1883 viene depositato in Italia il brevetto del francese Joseph Monier, che sarà oscurato nel 1892 dal brevetto di François Hennebique (1842-1921), simile alla versione oggi in uso. Era adatto all'Italia per le similitudini costruttive con la muratura, a differenza della precisione industriale della costruzione in «ferro» che aveva caratterizzato il XIX secolo.



L'insegnamento della nuova soluzione strutturale e la sua diffusione in Italia sono dovuti al prof. Silvio Canevazzi (1852-1918), alla scuola di Ingegneria di Bologna, e al prof Camillo Guidi (1853-1941) al Politecnico di Torino. Del primo fu collaboratore Attilio Muggia (1861-1936), del secondo fu allievo Giovanni Porcheddu (1860-1937), docenti (il primo) ed imprenditori, concessionari del brevetto Hennebique.

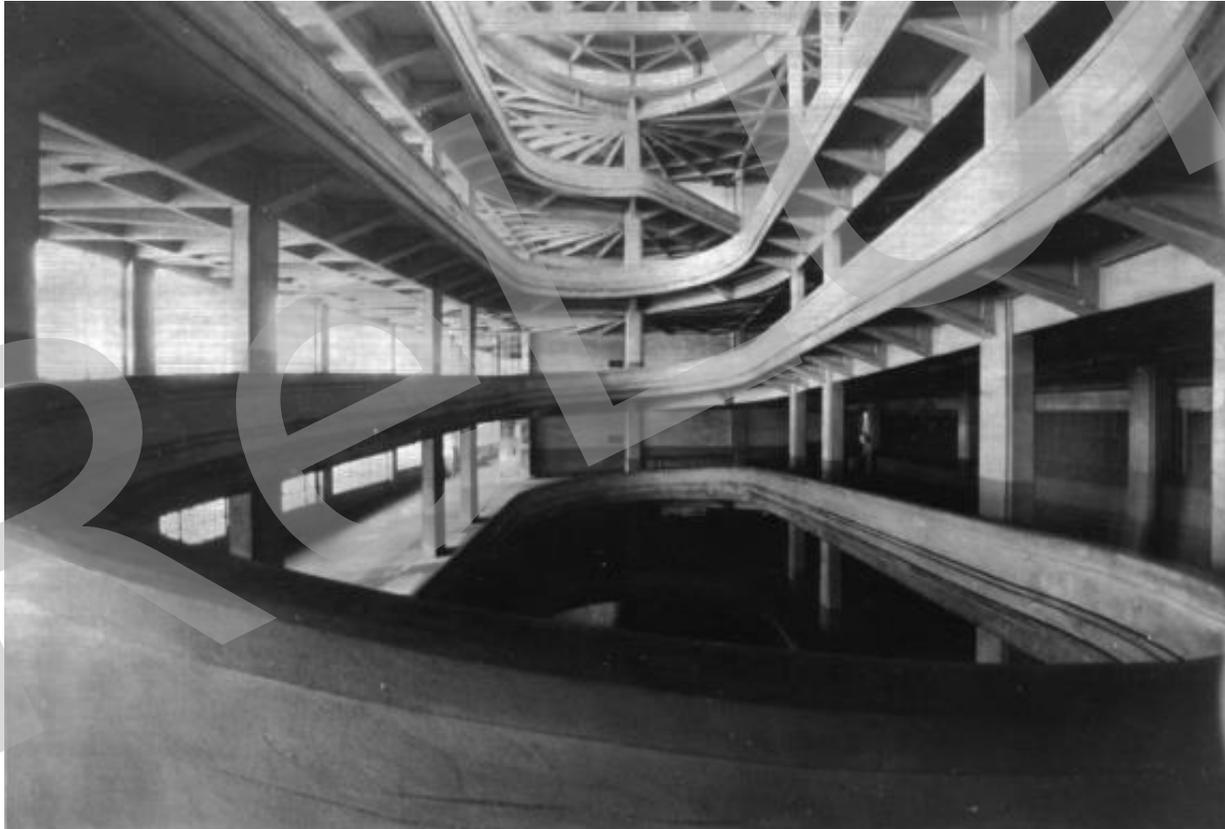


Con il tempo il cemento armato è diventato una soluzione strutturale che si progetta in base a documenti normativi, già a partire dal Decreto Regio del 1935.



Il Lingotto

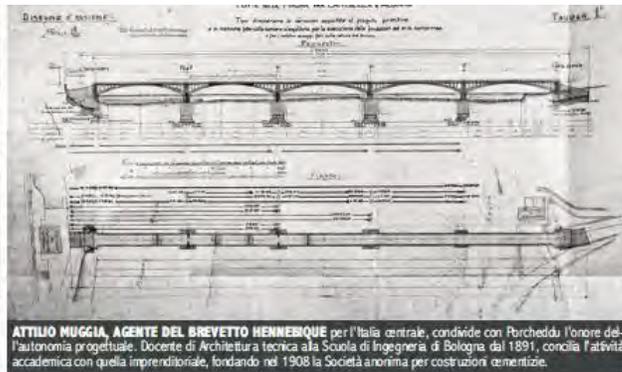
L'intervento dello stabilimento Fiat Lingotto è ritenuto uno dei più rilevanti storicamente e fu realizzato fra il 1916 e il 1926 dalla Società G.A. Porcheddu (a eccezione della pista sulla copertura e delle rampe elicoidali, realizzate dalla Società Fiat), per complessivi 75.000 m³ di calcestruzzo. Il Lingotto è considerato il più interessante esempio italiano di edificio industriale, all'interno del quale si svolgeva l'intero ciclo produttivo, fino al collaudo, degli autoveicoli. Strutturalmente è stato pensato con moduli tridimensionali pluripiano (formati da quattro pilastri, due travi principali, due secondarie e una soletta), su una maglia di base 6×6 m²; soltanto all'ultimo piano il modulo diventa 6×12 m² per ragioni legate alla catena di montaggio. La struttura aziendale, di grande modernità per l'epoca, comprendeva anche un piccolo laboratorio per le prove sui materiali.



Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

Cenni storici (da SiXXI Vol1, T. Iori, S. Poretti, Gangemi)

Stato di Ingegneria e di Architettura
Costruzioni in Cemento Armato
SISTEMA HENNEBIQUE
Ing. **ATTILIO MUGGIA**
BOLOGNA



ATTILIO MUGGIA, AGENTE DEL BREVETTO HENNEBIQUE per l'Italia centrale, condivide con Porcheddu l'onore dell'autonomia progettuale. Docente di Architettura tecnica alla Scuola di Ingegneria di Bologna dal 1891, concilia l'attività accademica con quella imprenditoriale, fondando nel 1908 la Società anonima per costruzioni cementizie.



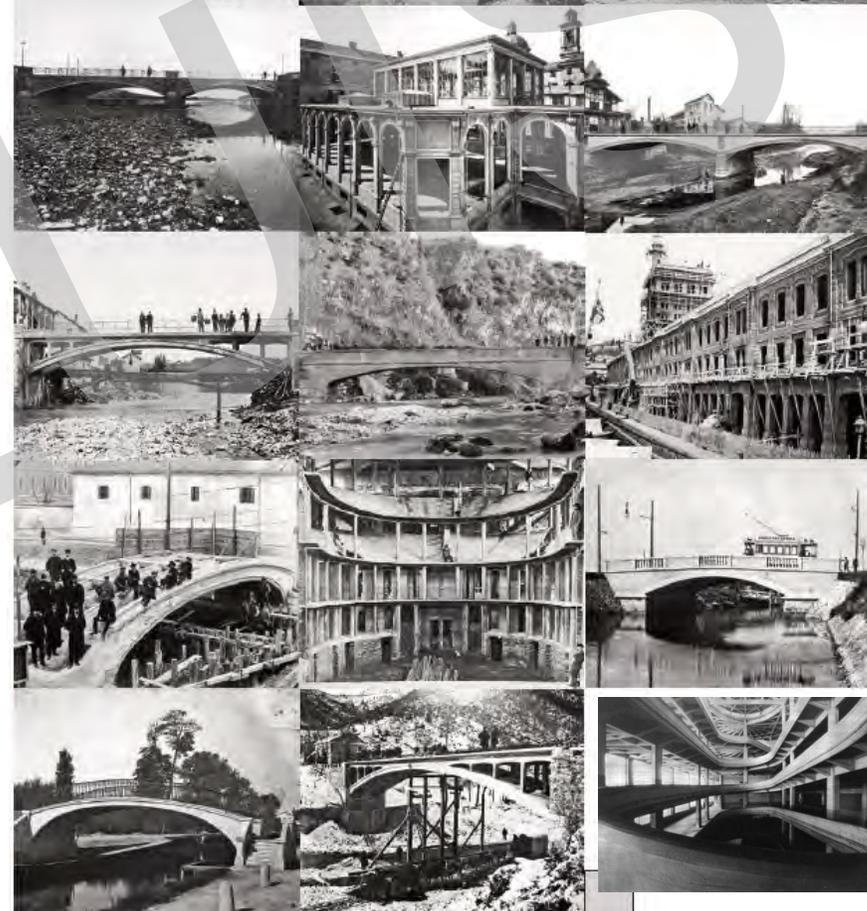
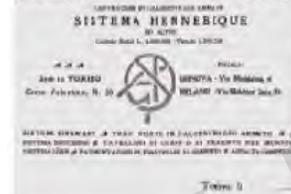
La sua opera più celebre è il ponte sul Magra tra Caprigliola e Albano: 5 arcate ribassatissime in cemento armato di 50 metri di luce ciascuna, è il più grande del suo genere al momento della realizzazione. Muggia si aggiudica la gara bandita nel 1902, cui partecipano altre 8 ditte. Per la fondazione delle pile ricorre ai cassoni ad aria compressa, sottofondati con uno speciale sistema di "agglomeramento pneumatico" da lui stesso brevettato. Le arcate sono gettate in opera su robuste centine di legno, impiegando 300 operai. L'opera completa, sottoposta a rigorose prove di carico statiche e dinamiche, con rotabili, una tramvia a vapore e una locomotiva trainante pesanti carichi, è aperta il 25 ottobre 1908.



Il fotografo ufficiale è l'ingegnere Nino Ferrari, allievo di Muggia e assistente di cantiere, che popola le sue foto con donne e bambini in posa. Con Muggia realizzerà anche il vicino ponte sul Vara a Piana Battolola e poi fonderà la sua ditta di costruzioni. Le camere da mina, predisposte alla chiave di due archi, saranno purtroppo strutturate per far saltare il ponte durante la seconda guerra mondiale: sarà ricostruito da Ferrari stesso nel 1949, su progetto di A. Caré e G. Giannelli (così come il ponte sul Vara).

1890-1935

SOCIETÀ PORCHEDDU ING. G. A.



Il brevetto Hennebique applicato ai ponti

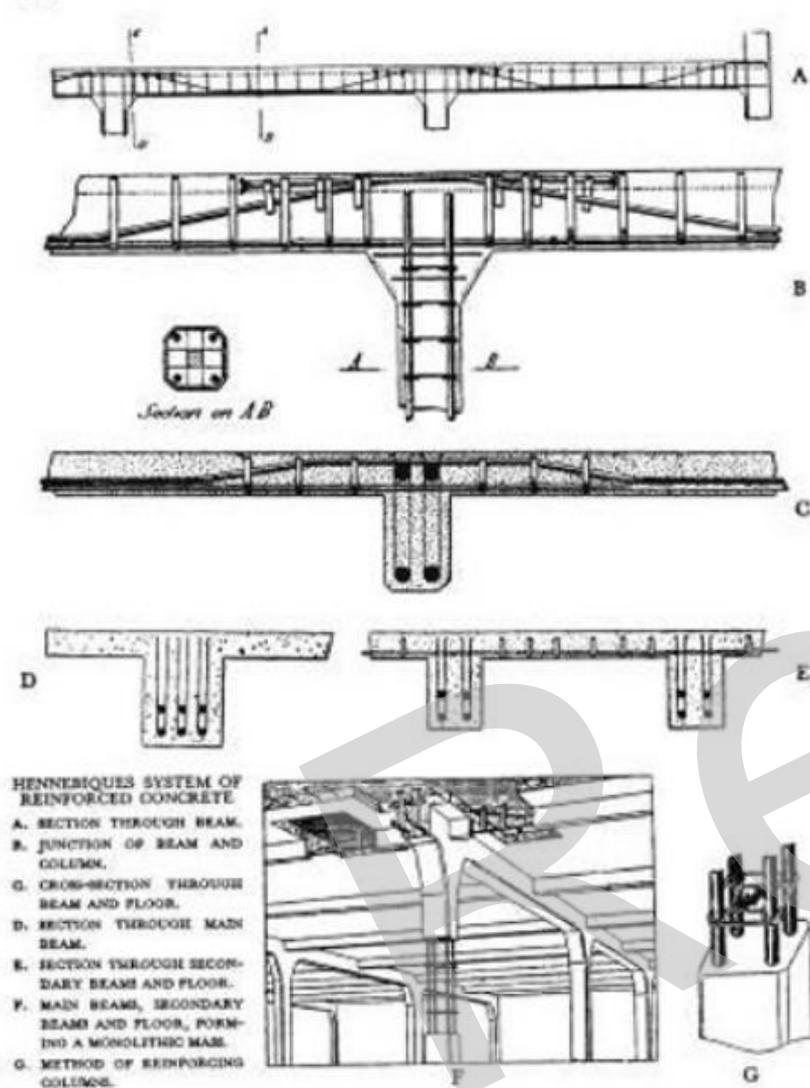


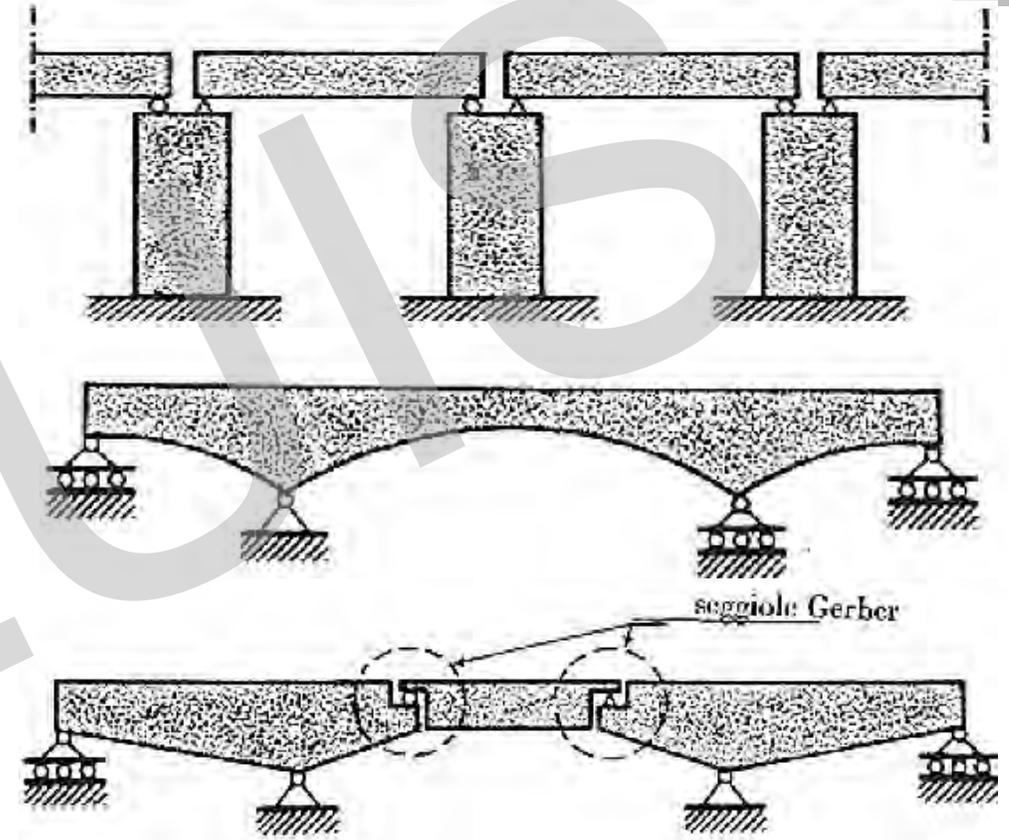
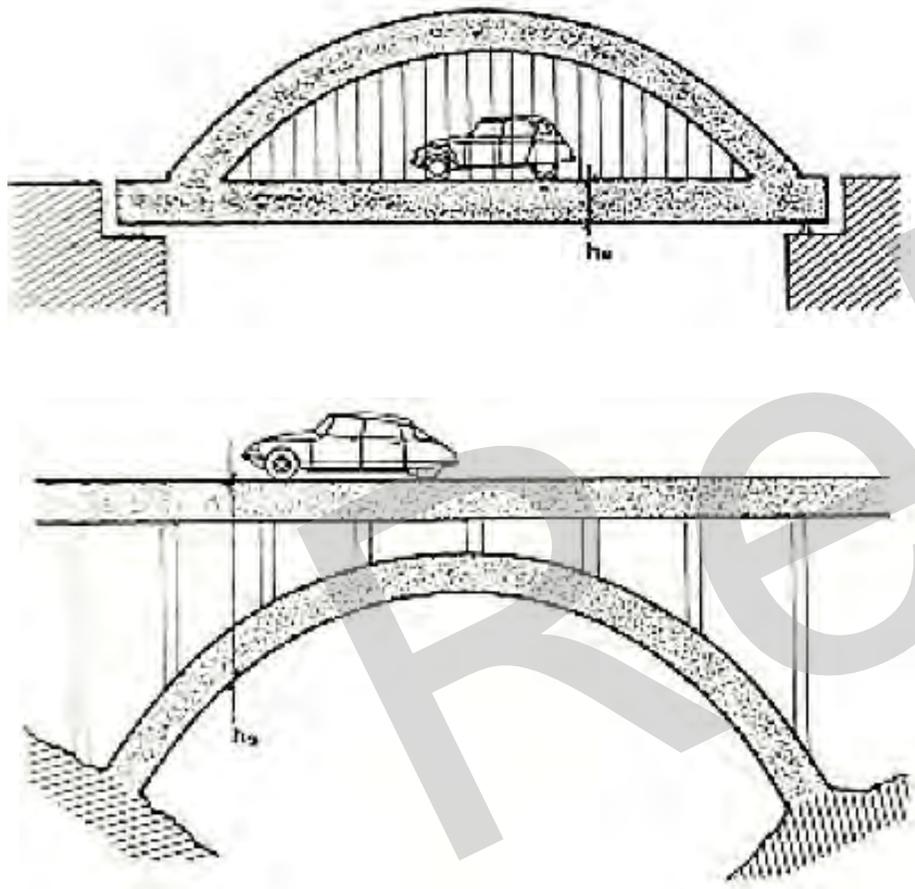
Fig. 12. System of reinforced concrete, by Hennebique (from Whittick, *European Architecture* 1).



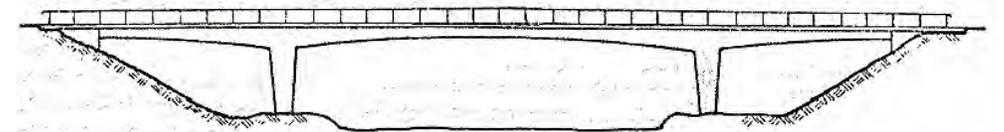
(appoggiata, continua, Gerber, graticcio, ...)

Ponti ad arco

(a via superiore, inferiore, ...)



Ponti a telaio



Per individuare i possibili difetti, i fenomeni di degrado e i danni dovuti ai carichi da traffico è necessario esaminare le tecnologie di realizzazione del c.a..

E' importante anche definire alcuni aspetti caratteristici che consentono il riconoscimento della specifica tecnologia dalle ispezioni visive.

- La risposta meccanica dei materiali da costruzione è in genere espressa in termini di legami tensione-deformazioni (σ - ϵ).
- Se la prova di caratterizzazione è svolta con carico sempre crescente si definisce il legame monotono.

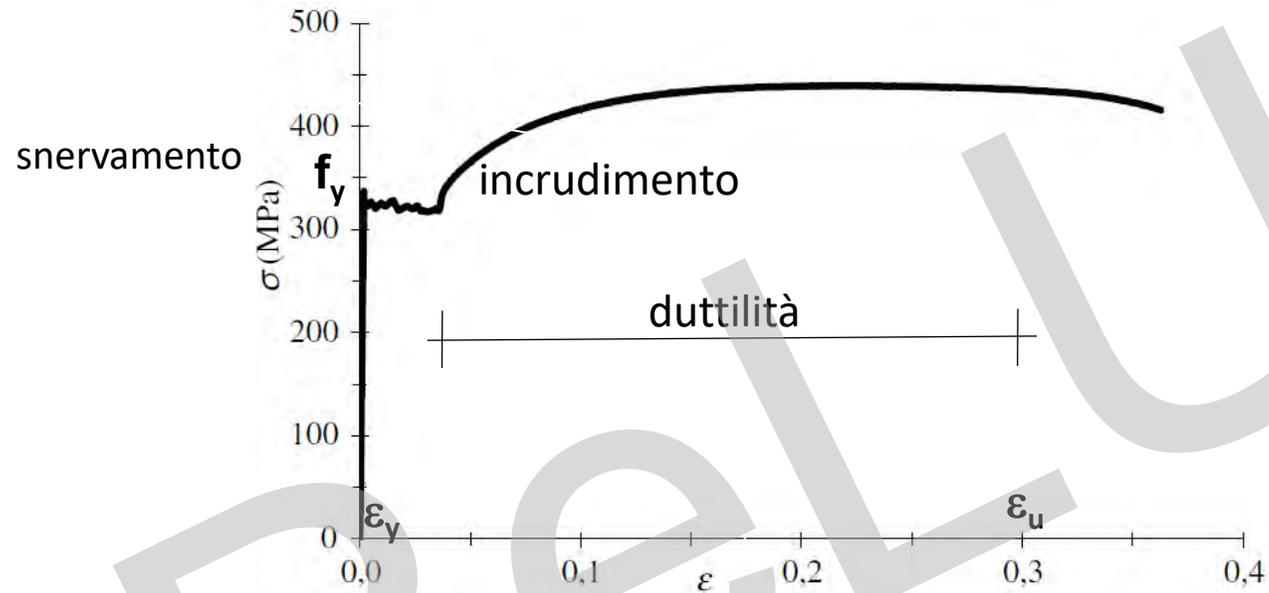
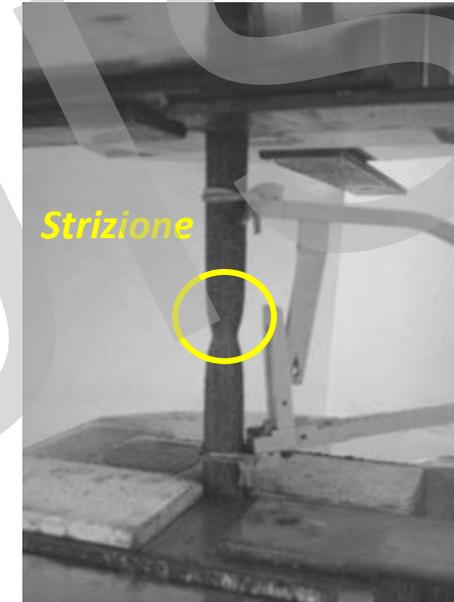


Diagramma monotono tensione-deformazione σ - ϵ .



- Rigidità:** è espressa dalla pendenza del tratto iniziale lineare (E);
- Resistenza:** è espressa dal valore terminale del tratto elastico (f_y);
- Sovreresistenza:** è espressa dal rapporto del valore massimo (f_u) della tensione e di quella (f_y).
- Duttilità:** è espressa dal rapporto (ϵ_u/ϵ_y) tra la deformazione corrispondente a f_y e della deformazione ultima (ϵ_u).

- Il calcestruzzo (cls) è un materiale strutturale con resistenza a compressione relativamente alta (15-50 MPa per cls ordinari) e bassa resistenza a trazione (1/10 della resistenza a compressione).
- La risposta meccanica del cls si ricava di solito da prove di compressione su cubetti (resistenza R_{ck}) e/o cilindri (resistenza f_{ck}) di dimensioni standard. I risultati sono espressi con relazioni tensione-deformazione (σ - ϵ).

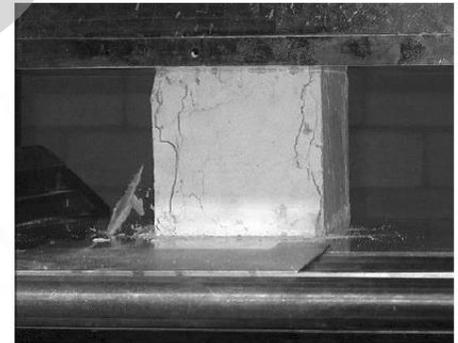
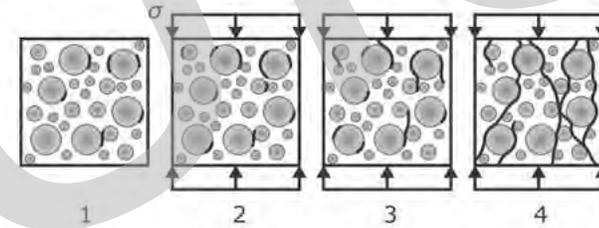
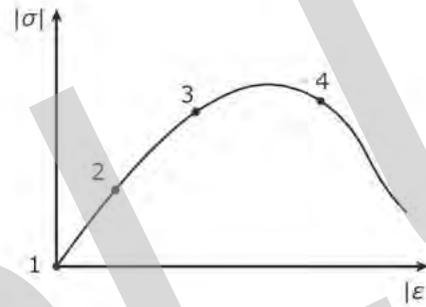
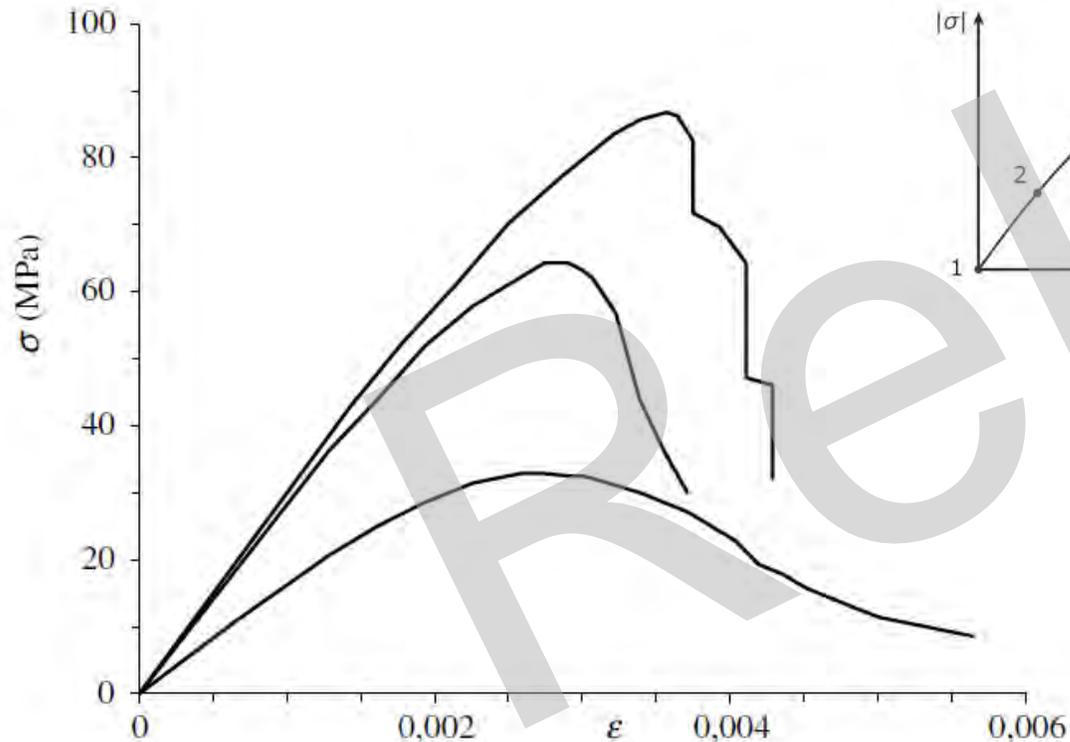
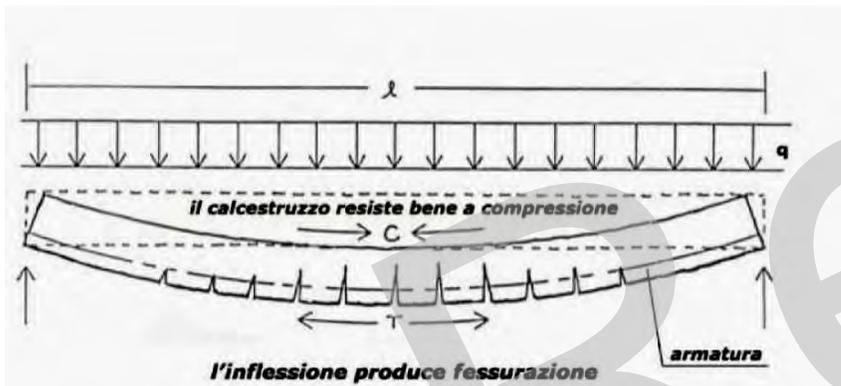
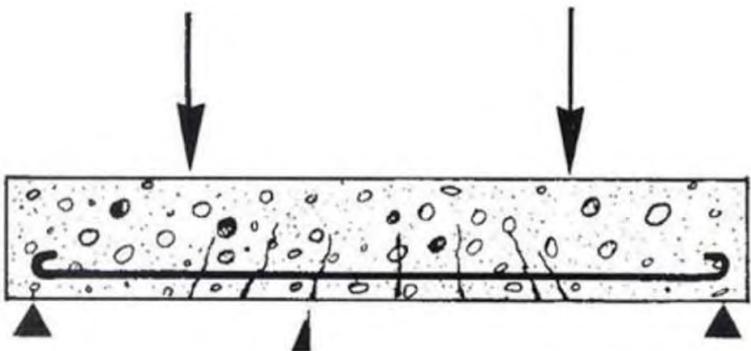
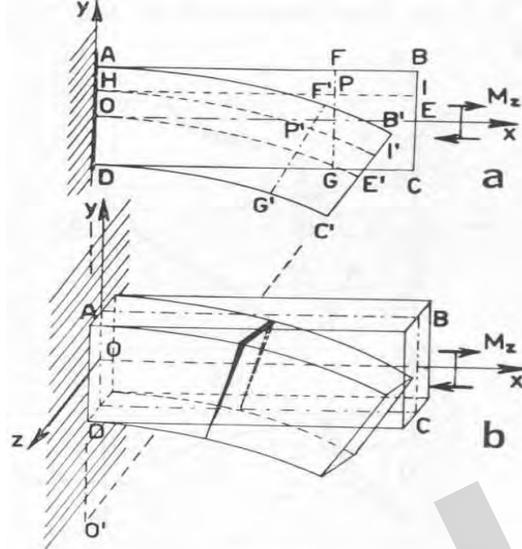


Diagramma tensione-deformazione ottenuta su provini cilindrici di calcestruzzo ordinario

Trave in c.a.



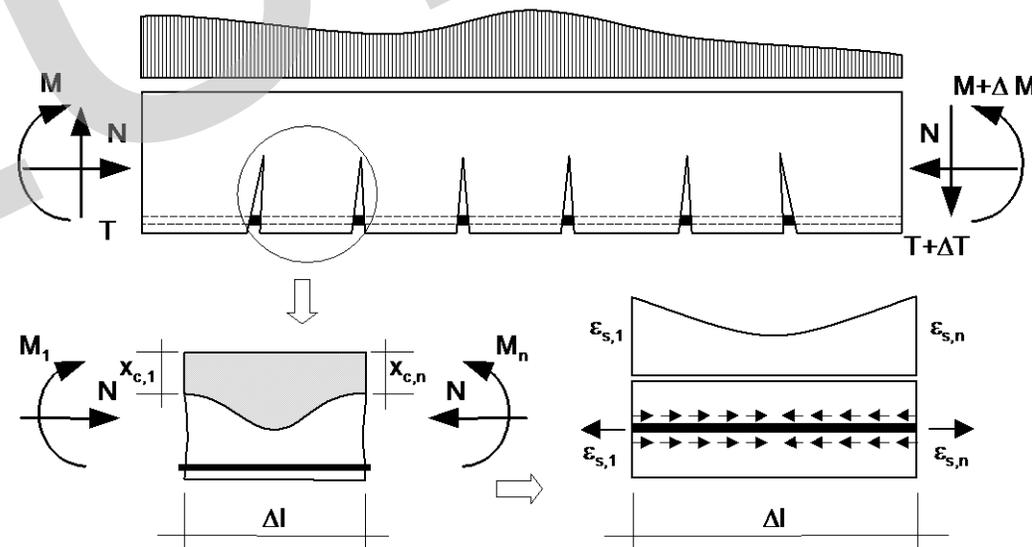
- Modesta resistenza a trazione
- Fessure in zona tesa
- Notevole incidenza del peso proprio rispetto alla resistenza



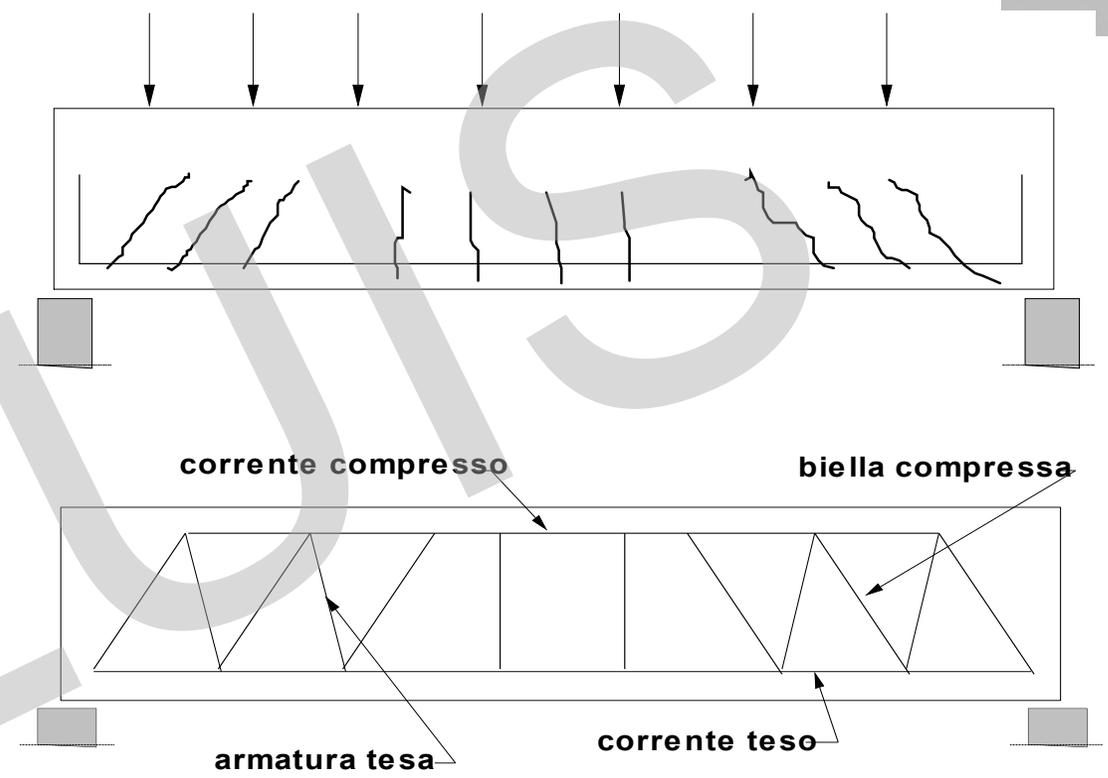
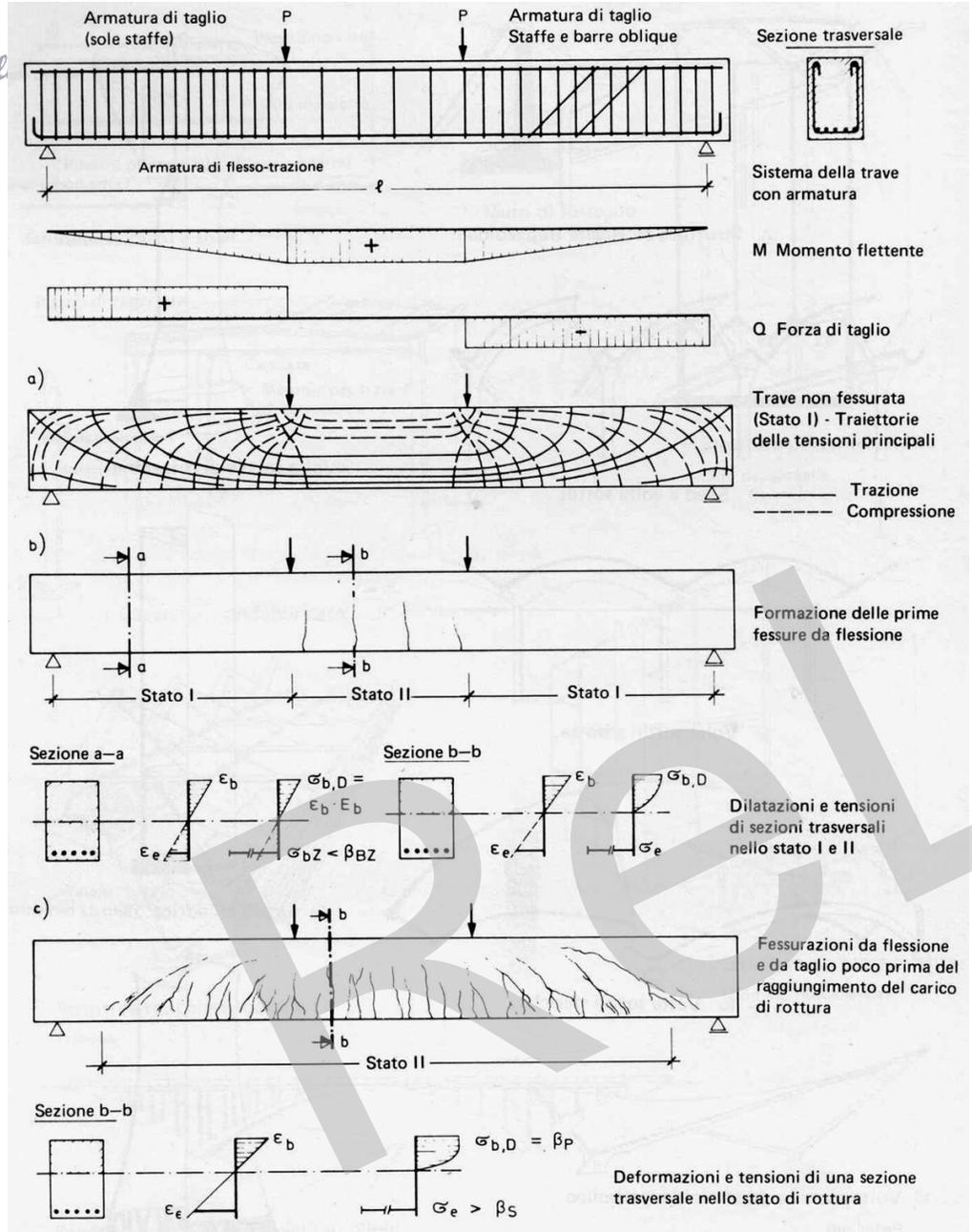
Flessione

prevalentemente nelle travi per carichi verticali e nei pilastri per carichi orizzontali

La fessurazione (distanza e apertura fessure è governata dall'aderenza tra acciaio e calcestruzzo

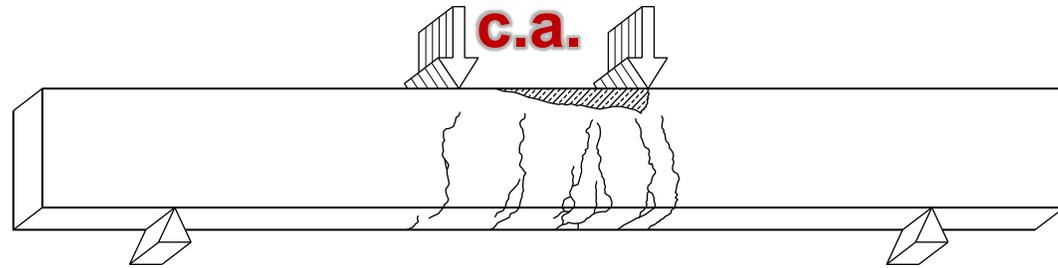


Comportamento di una trave in cemento armato caricata fino a rottura

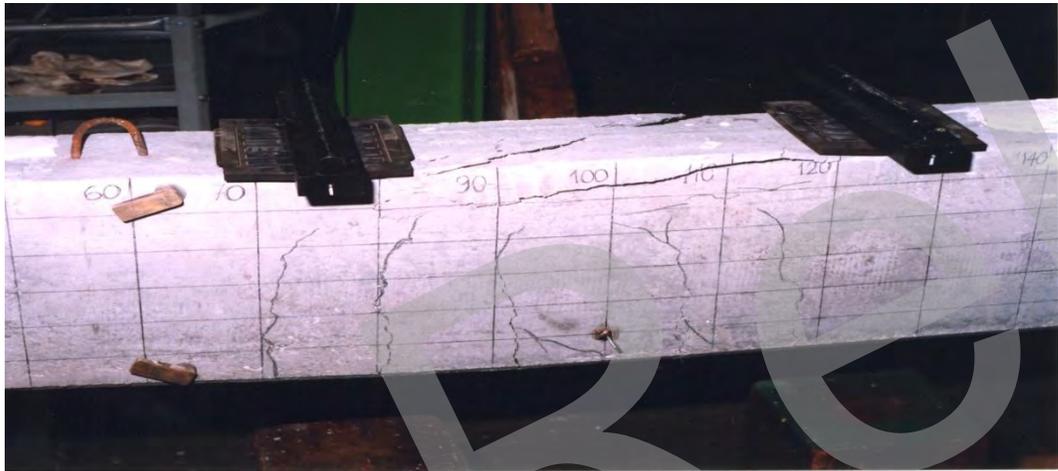


Meccanismo a traliccio le fessure si formano in direzione ortogonale alle tensioni principali (tensioni massime a trazione e compressione)

Flessione trave in



 distacco del copriferro

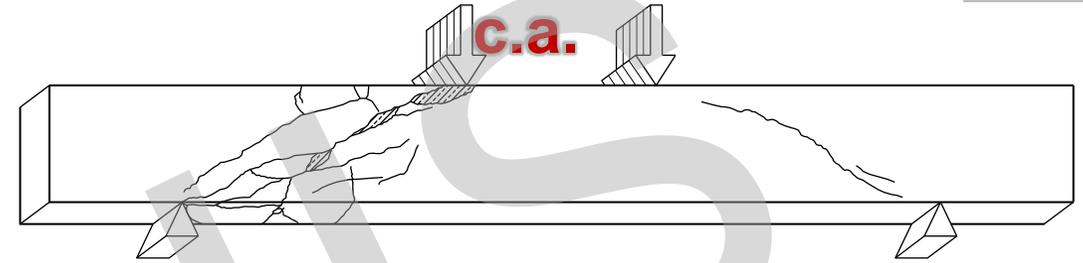


Modesta resistenza a trazione

Fessure in zona tesa

Notevole incidenza del peso proprio rispetto alla resistenza

Taglio trave in



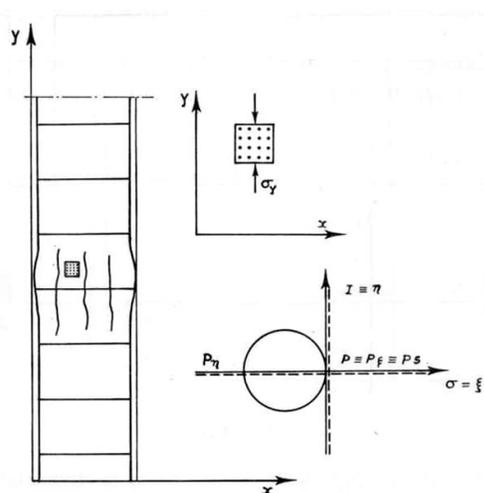
 distacco del copriferro



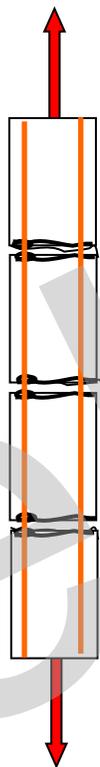
**Meccanismo a traliccio le fessure si formano in direzione
ortogonale alle tensioni principali di trazione**

Quadri fessurativi

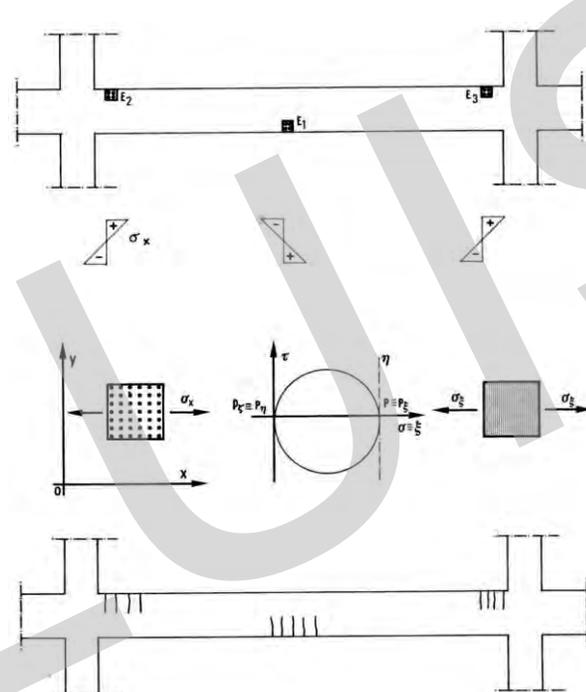
Compressione: fessure parallele all'azione



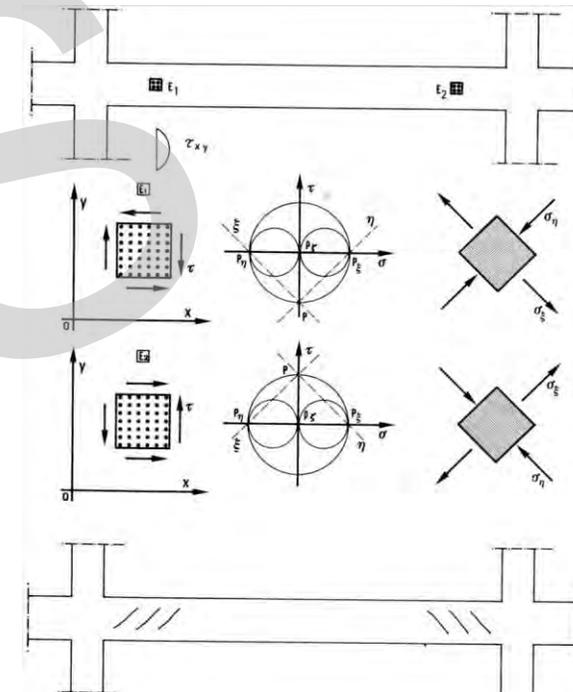
Trazione: fessure ortogonali all'azione



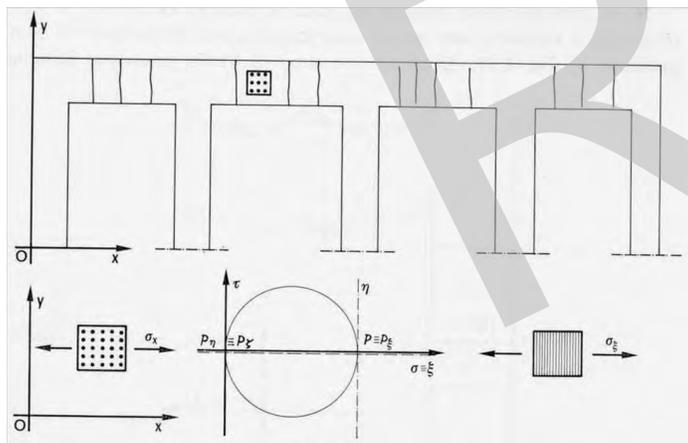
Flessione: fessure ortogonali alla trazione



Taglio: fessure inclinate ortogonali alla trazione



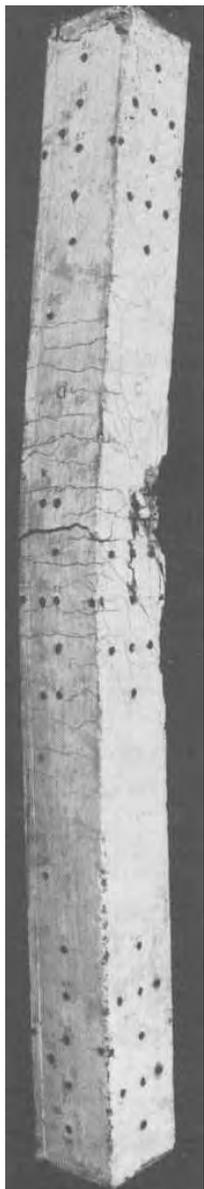
Fessure da ritiro



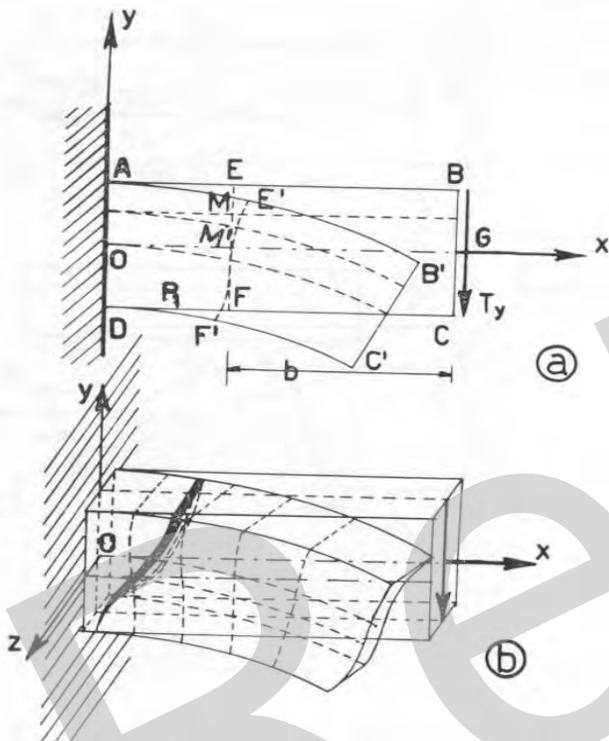
sollecitazioni composte



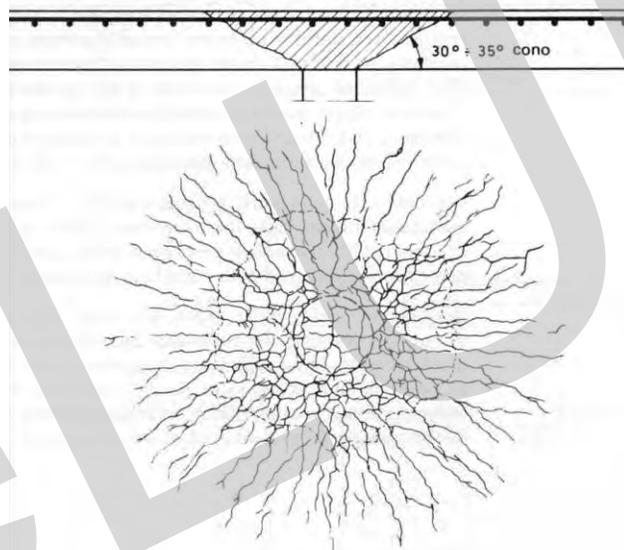
flessione + sforzo normale



flessione + taglio



punzonamento



torsione

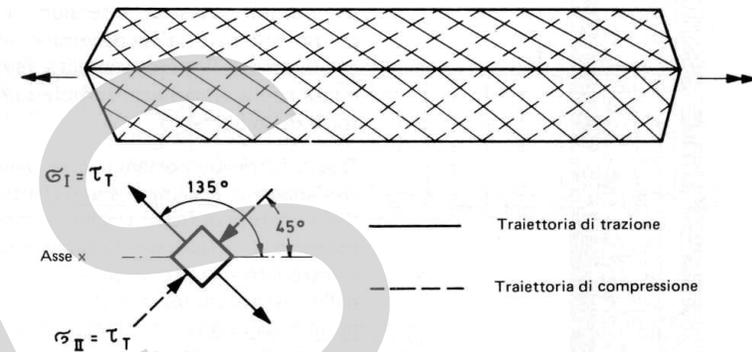


Fig. 5.16 Andamento delle tensioni principali con sollecitazione a torsione semplice

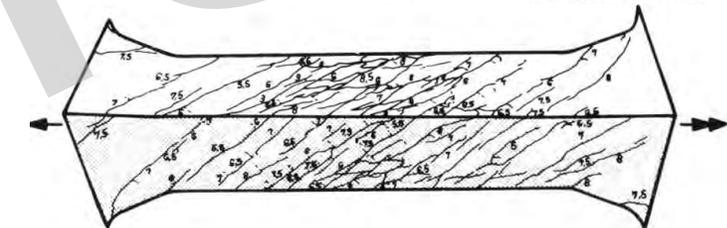
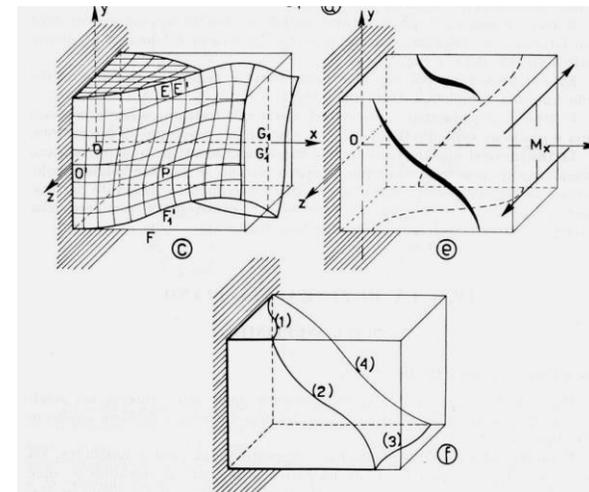


Fig. 5.17 Fessurazioni di un prisma di cemento armato sollecitato a torsione semplice (secondo E. Mörsch [1])



R. DECRETO-LEGGE 16 novembre 1939-xviii, n. 2229 (Suppl. Ord. alla Gazzetta Ufficiale, n. 92 del 18 aprile 1940).

Norme per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato.

VITTORIO EMANUELE III
PER GRAZIA DI DIO E VOLONTÀ DELLA NAZIONE
RE D'ITALIA E D'ALBANIA
IMPERATORE D'ETIOPIA

- Metodo di verifica alle tensioni ammissibili
- Assenza di classi prestazionali ma indicazioni sul dosaggio

Art. 9.

La dosatura di cemento per getti armati dev essere non inferiore a 300 kg. per m³. di miscuglio secco di materia inerte (sabbia e ghiaia o pietrisco); per il cemento alluminoso la dosatura minima può essere di 250 kg. per m³.

- L'acciaio è identificato con le classi (barre lisce): dolce, semiduro e duro;

Normativa	R.D.L n°2229/1939		
Tipologia	liscio		
Denominazione	Dolce	Semi duro	Duro
Snervamento (kgf/mm ²)	≥ 23	≥ 27	≥ 31
Rottura (kgf/mm ²)	42-50	50-60	60-70
Allungamento (%)	≥ 20	≥ 16	≥ 14

« Per gli acciai in tondo, la tensione non deve superare il 50% del carico di snervamento e, in ogni caso, i valori indicati nella tabella III.

Tabella III

Aq. 42	1400 Kg/cm ²
Aq. 50	1600 Kg/cm ² (1)
Aq. 60	1800 Kg/cm ² (1)

« Per gli acciai di forma speciale ad aderenza migliorata (ritorti, sagomati, ecc.) la tensione ammissibile non deve superare il 50% del carico di snervamento né il 40% del carico di rottura con la condizione che l'allungamento di rottura non sia inferiore al 12%.

- L'acciaio ad aderenza migliorata viene introdotto con una Circolare del 1957, insieme alle classi Aq.42, Aq.50 e Aq.60 che hanno le stesse proprietà delle 3 classi precedenti

Tipo di sollecitazione	R.D.L. 16 novembre 1939 n° 2229				
	Coeff. di sicurezza	min [kg/cmq]	σ _{r,28} max [kg/cmq]	σ _c [kg/cmq]	σ _{c,max} [kg/cmq]
A) <i>Compressione semplice</i> Sollecitazioni normali di calcolo:					
a) cls con cemento "500"	-	120	-	35	-
b) cls con cemento "680"	-	160	-	45	-
Sollecitazioni dopo determinazione preventiva:					
a)	3	120	-	σ _{r,28} /3	60
b)	-	-	-	-	-
B) <i>Flessione e pressoflessione</i> Sollecitazioni normali di calcolo:					
a) cls con cemento "500"	-	120	-	40	-
b) cls con cemento "680"	-	160	-	50	-
Sollecitazioni dopo determinazione preventiva:					
a)	3	120	225	σ _{r,28} /3	75
b)	-	225	$75 + \frac{\sigma_{r,28} - 225}{9}$		-
τ _{c,0} [kg/cmq] (cls b)	4 (6)				
τ _{c,1} [kg/cmq]	14 (16)				
n	10-8-6				
γ [kg/mc]	2500				
σ _{f,max} [kg/cmq] (omog.); Aq 42	1400				
σ _{f,max} [kg/cmq] (semid.); Aq 50	2000				
σ _{f,max} [kg/cmq] (duro); Aq 60	2000				

Tipo di sollecitazione	DECRETO MINISTERIALE 30 maggio 1974				
	Coeff. di sicurezza	$\sigma_{r,28}$		σ_c [kg/cmq]	$\sigma_{c,max}$ [kg/cmq]
		min [kg/cmq]	max [kg/cmq]		
A) <i>Compressione semplice</i>			$\sigma_c = 0,7[1-0,03(25-s)] \cdot \bar{\sigma}_c$		
Sollecitazioni normali di calcolo:					
Sollecitazioni dopo determinazione preventiva:		150	500		103.25
				per $s < 25\text{cm}$	
B) <i>Flessione e pressoflessione</i>			$\bar{\sigma}_c = 60 + \frac{R_{ck} - 150}{4}$		
Sollecitazioni normali di calcolo:					
Sollecitazioni dopo determinazione preventiva:	>2,5	150	500		147.5
			$\bar{\tau}_{c,0} = 4 + \frac{R_{ck} - 150}{75}$		8.66
$\tau_{c,0}$ [kg/cmq]					24.0
$\tau_{c,1}$ [kg/cmq]			$\bar{\tau}_{c,1} = 14 + \frac{R_{ck} - 150}{35}$		
f_{ctm} [kg/cmq]					
$\tau_b =$ (lisci; ad)			$1,5 \tau_{b0}; 3,0 \tau_{b0}$		
n			10 - 15		
E			$E_s = 18000 \sqrt{R_{ck}}$		
γ [kg/mc]			2500		
$\sigma_{f,max}$ [kg/cmq] Fe B 22 k lisc.			1200		
$\sigma_{f,max}$ [kg/cmq] Fe B 32 k lisc.			1600		
$\sigma_{f,max}$ [kg/cmq] Fe B 38 k ad.			1900 - 2200 (controllato)		
$\sigma_{f,max}$ [kg/cmq] Fe B 44 k ad.			2200 - 2600 (controllato)		

DM 22/07/1972 e 30/05/1972

- il concetto di classe (150/200/250/300/400/500 kg/cm²) di calcestruzzo, identificato non più per il dosaggio ma per la resistenza caratteristica cubica R_{bk}
- Anche l'acciaio viene identificato con le classi: Feb22k (barre lisce) con tensione ammissibile pari a 1200kg/cm²; Feb32k (barre lisce) con tensione ammissibile pari a 1600kg/cm²; Feb38k (aderenza migliorata) con tensione ammissibile pari a 1900kg/cm² o, se controllato, pari a 2200kg/cm²; Feb44k (aderenza migliorata) con tensione ammissibile pari a 2200kg/cm² o, se controllato, pari a 2600kg/cm²;
- Un metodo alternativo alle tensioni ammissibili con il calcolo a rottura ($FS > 1,75$) che con il DM del '74 diventa calcolo agli stati limite e che con il DM del 1980 diventa metodo semiprobabilistico agli stati limite;
- La definizione di stato limite ultimo e di esercizio, quest'ultimo per fessurazione e deformazione.

Acciaio da armatura

Tabella 1 - Evoluzione temporale delle principali indicazioni normative relative alla classificazione degli acciai di armatura

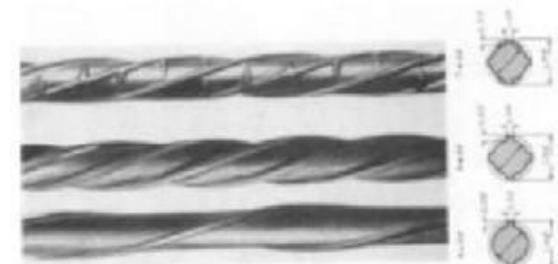
Normativa	R.D.L. n°2229/1939			LL.PP. n°1472/1957				D.M.30/05/1972					D.M. 30/05/1974			
Tipologia	liscio			liscio		a.m.	liscio		aderenza migliorata (a.m)			liscio		a.m.		
Denominazione	Dolce	Semi duro	Duro	Aq42	Aq50	Aq60		FeB22	FeB32	A38	A41	FeB44	FeB22	FeB32	FeB38	FeB44
Snervamento (kgf/mm ²)	≥ 23	≥ 27	≥ 31	≥ 23	≥ 27	≥ 31	/	≥ 22	≥ 32	≥ 38	≥ 41	≥ 44	≥ 22	≥ 32	≥ 38	≥ 44
Rottura (kgf/mm ²)	42-50	50-60	60-70	42 - 50	50 - 60	60-70	/	≥ 34	≥ 50	≥ 46	≥ 50	≥ 55	≥ 34	≥ 50	≥ 46	≥ 55
Allungamento (%)	≥ 20	≥ 16	≥ 14	≥ 20	≥ 16	≥ 14	≥ 12	≥ 24	≥ 23	≥ 14	≥ 14	≥ 12	≥ 24	≥ 23	≥ 14	≥ 12

Tabella 3 – I principali parametri statistici del database relativo alle categorie Comune, AQ42, Aq50, Aq60 ed ALE e relativi parametri delle due distribuzioni Normale e LogNormale adottate.

Periodo 1950-1972	Comune	AQ42	AQ50	AQ60	ALE	
n°prove	1464	3520	3278	949	461	
Media	276.47	322.34	370.90	435.45	512.06	
Mediana	276.45	320.80	369.30	428.30	500.20	
Dev.St.	25.10	26.59	31.84	50.06	65.41	
min	165.20	211.90	212.80	294.30	260.80	
max	386.20	486.30	557.00	656.80	884.20	
kurtosi	4.320	4.728	6.186	6.652	6.749	
LogNormal	μ	5.618	5.775	5.912	6.070	6.230
	σ	0.091	0.082	0.084	0.109	0.122
Normal	μ	276.47	322.34	370.90	435.45	512.06
	σ	25.10	26.59	31.84	50.06	65.41

Tabella 4 – I principali parametri statistici del database relativo alle categorie FeB22 e FeB32 e relativi parametri delle due distribuzioni Normale e LogNormale adottate.

Periodo 1974-1980	FeB22K	FeB32K	
n°campioni	47	612	
Media	325.11	430.03	
Mediana	332.00	420.00	
Dev.St.	39.83	53.48	
min	222.00	326.00	
max	429.00	662.00	
kurtosi	3.998	5.237	
LogNormal	μ	5.776	6.057
	σ	0.13	0.118
Normal	μ	325.11	430.03
	σ	39.83	53.48



Barre tipo Tor (da ponte)

In alcuni casi si trova anche l'acciaio TOR (Toristeg Steel Corporation of Luxembourg) sinonimo di CTD (Cold Twisted Deformed), che indica delle particolari barre di acciaio dolce, che dopo aver subito il dovuto processo di formazione a caldo, vengono laminate (deformate –allungate e torte) a freddo (Cold Working Process), ottenendo una resistenza più elevata.

Normativa	Resistenza	[kg/cm ²]	Tipo di Sollecitazione			Controlli	
			Compr.	Fless.	Taglio		
R.D. 1907	normale	≥150	20%				
R.D. 2229/39	val. medi	normale	≥120	29.2%	33.3%	3.3%	11.7%
		alta res.	≥160	28.1%	31.3%	3.8%	10.0%
		contr. in cant.	180-225	33.3%	33.3%	2.7	7.1%
D.M. 30/05/72	valori caratteristici	150-500	20-28%	29-40%	2.6-1.7%	9.3-48%	4/100 mc min 12
D.M. 26/03/80	"	"	"	"	"	"	2/100 mc min 6
D.M. 09/01/96	ordinario	150-550	20-28%	29-40%	2.6-1.7%	9.3-48%	1/ 100 mc min 3
	alte prestazioni	600-750					
	alta resistenza	850-1150					
D.M. 14/01/08	C8/10-C12-15 (Strutt. Non Armate)	100-150			$\alpha_{cc}=0.85$	$\gamma_c=1.5$	"
	C16/20-C25-30 (Strutt. Semplic. Armate)	200-300					
	C28/35-C45-55 (Strutt. Precomprese)	350-550					
D.M. 17/01/18	C50/60-C70-85 (Previa Qualif. e Sperimentaz.)	600-850					
	C80/95-C90-105 (Previa Autorizz. Serv. Tecnico Centrale)	950-1050					

Normativa		Resistenza [kg/cm ²]		Tensione ammissibile [kg/cm ²]	Trazione	Taglio	Allung. a rottura	Controlli
		Rottura	Snervamento	σ_{adm}	$\frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{max}}$	$\frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{max}}$		
R.D. 1907	ferro omogeneo	3600-4600			22÷28%	18÷22%		
	ferro agglomerato	>3400			<23.5%	<18.8%		
R.D. 2229/39	acciaio dolce	4200-5000	≥2300		28-33%		20%	
	acciaio semiduro	5000-6000	≥2700		33-40%		16%	2/1000
	acciaio duro	6000-7000	≥3100		29-40%		14%	
Circ.1472 del 23/05/57	Aq 42	4200-5000	≥2300	1400	28-33%		20%	
	Aq 50	5000-6000	≥2700	1600	33-40%		16%	
	Aq 60	6000-7000	≥3100	1800	29-40%		14%	
	barre ad aderenza migliorata			2200				
D.M. 30/05/72	barre lisce	3400-5000			35-32%		24-23	3 camp. (facoltativo se control. In stab.)
	barre ad aderenza migliorata	4600-5500			48-40%		14-12%	
D.M. 26/03/80	“	“	“		“		“	“
D.M. 09/01/96	FeB44K	4500	5400		40%		15-18%	3 camp. per ogni lotto
D.M. 14/01/08	B450C(alta dutt.)	4500	5400				≥7.5%	“
	B450A(bassa dutt.)					$\gamma_s=1.15$	≥2.5%	

Normativa	Arm. Longitudinale	Arm. trasversale	Verifiche	Coprif.	Interf.
R.D. 1907	-	-	n=10 metodo T.A.	-	-
R.D. 2229/39	almeno 4 barre long. ai vertici della sezione ('reggistaffa') con $\emptyset=8-12$	50% taglio staffe 50% taglio ferri piegati	n=6,8,10 metodo T.A.	2 cm	$i_{\min} = \min(2 \text{ cm}, \emptyset)$
D.M. 30/05/72	$A_s=0.25\%A_c$ (barre lisce) $A_s=0.15\%A_c$ (barre A.M.)		n=10,15 metodo T.A. calc. a rottura	2-4 cm	$i_{\min} = \min(2 \text{ cm}, \emptyset)$
D.M. 26/03/80	"	$A_{sw}=3 \text{ cm}^2/\text{m}$ $s \leq 0.8d$ $s \leq 12 \emptyset$ min(appoggi)	n=15 metodo T.A. Stati Limite	"	"
D.M. 09/01/96	"	se $T < T_{\lim}$ $A_{sw}m_{sw}=125A_{sw}/h$ $A_{sw}m_{sw}=3A_{sw}$	n=15 metodo T.A. Stati Limite	2.5-4.5 cm	"
D.M. 14/01/08	$A_{s, \min}=0.26 f_{ctm}/f_{yk} \cdot b_t \cdot d$ $\geq 0.0013 \cdot b_t \cdot d$ $A_{s, \max}=0.04A_c$	50% taglio staffe $A_{sw} \geq (1.5 \cdot b \cdot \text{mm}^2/\text{m};$ 3 staffe/m) $s < 0.8d$	Stati Limite - metodo T.A. solo casi particolari	secondo classe di esposizione	
D.M. 17/01/18	$A_{s, \min}=0.26 f_{ctm}/f_{yk} \cdot b_t \cdot d$ $\geq 0.0013 \cdot b_t \cdot d$ $A_{s, \max}=0.04A_c$	50% taglio staffe $A_{sw} \geq (1.5 \cdot b \cdot \text{mm}^2/\text{m};$ 3 staffe/m) $s < 0.8d$	Stati Limite	secondo classe di esposizione	

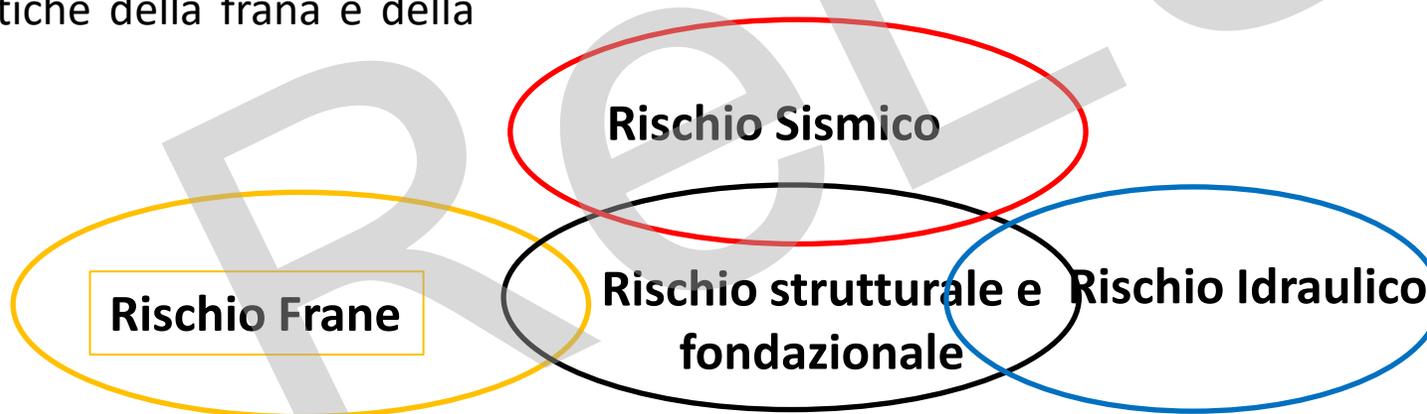
Si propone un approccio MULTIRISCHIO mediante approcci speditivi + indicazioni per analisi di dettaglio e monitoraggio



Il rischio frana dipende fondamentalmente dalle caratteristiche della frana e della spalla



Nel rischio sismico la vulnerabilità della struttura dipende dallo schema statico e dalla capacità degli elementi portanti verticali. Per gli impalcati in precompresso può essere importante l'effetto di sisma verticale



I rischi di scalzamento pile o sormonto impalcato sono indipendenti dal tipo di impalcato quindi possono essere trattati in modo trasversale. Oltre al contesto idraulico possono dipendere dal tipo di pile, spalle e fondazioni

2. Inquadramento delle schemi strutturali nelle varie epoche

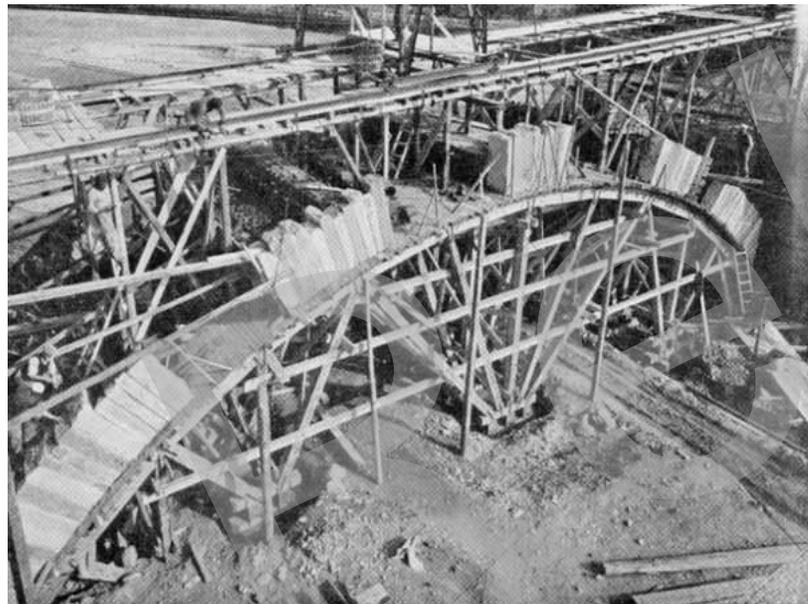
L'inquadramento degli schemi statici e dell'epoca di costruzione forniscono ulteriori informazioni per il riconoscimento anche visivo e la focalizzazione dei punti caratteristici e critici

RELUIS

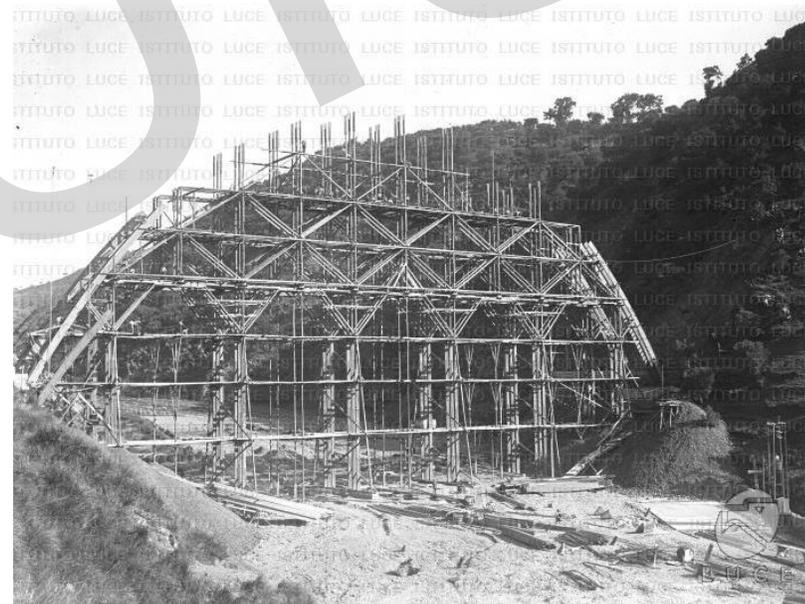
Tra la fine dell'800 e gli inizi del '900 si vide la comparsa dei ponti ad archi in calcestruzzo armato



I primi ponti ad arco in c.a. sono eredi diretti di quelli in muratura, sia come concezione strutturale che come calcolo, con il vantaggio di poter consentire la realizzazione di strutture monolitiche di luce maggiore, plasmandone la forma mediante il getto entro i casseri.

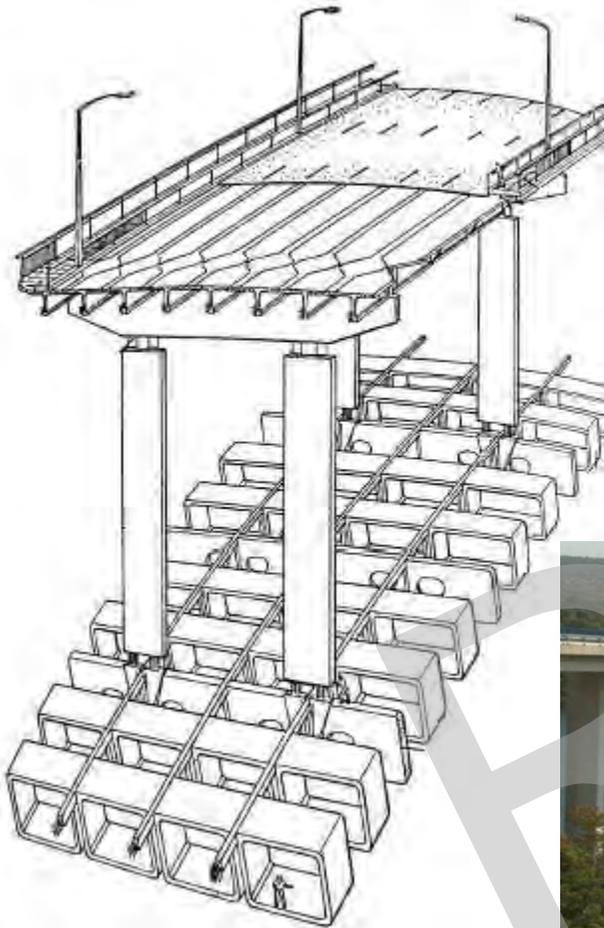


Ponte scaligero Verona

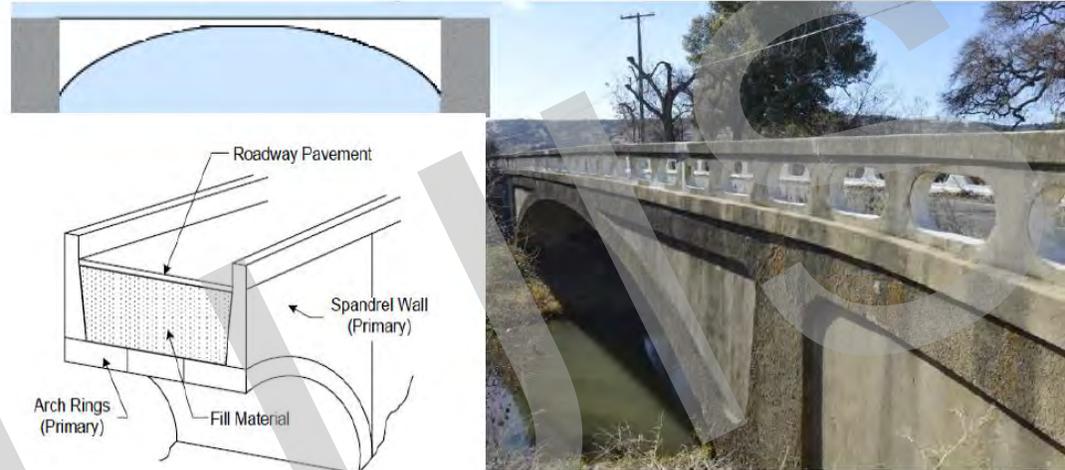


Ponte su torrente Musosolo, Catanzaro 1929

Elementi strutturali ponte ad arco in c.a.:
Arco-Colonne-Impalcato



Ponte ad arco a rinfianchi chiusi



Ponte ad arco con colonne sottili



Ponte ad arco con setti



L'arco è la prima forma che si utilizza passando dalla muratura al cemento armato che presenta buone prestazioni in compressione . A volte molto ribassato con spinte molto elevate



Ponte sull'Astico a Calvene in Veneto
Arturo Danusso 1908



Ponte sul Savio a Montecastello
Attilio Murgia 1914



Ponte risorgimento sul Tevere
Hennebique 1911



Ponte sul Brenta a Primolano
Arturo Danusso 1913

Ponte ad arco a via superiore

Viadotto Bisantis a Catanzaro
Riccardo Morandi 1958



Ponte ad arco a via intermedia



Ponte ad arco a via inferiore



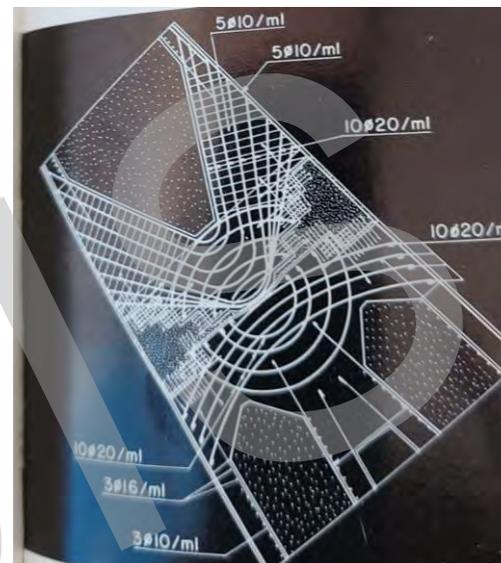
Ponte ad arco a via superiore

Viadotto Bisantis a Catanzaro
Riccardo Morandi 1958

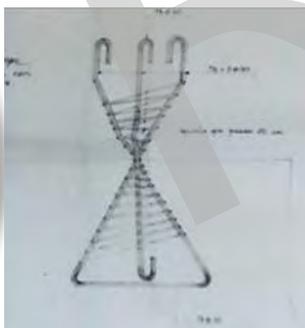
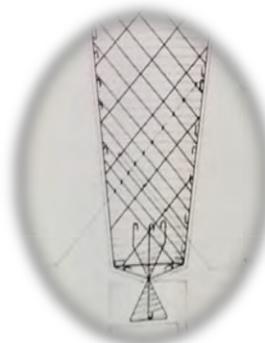
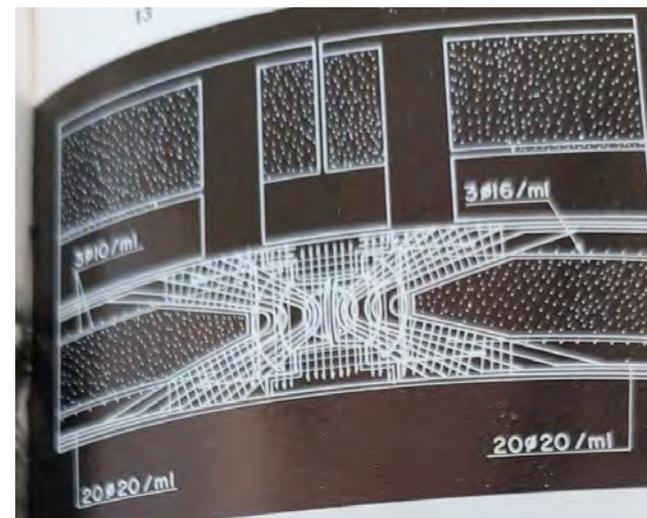


Vincoli provvisori Dettagli di cerniere nel c.a.

Cerniera provvisoria all'imposta

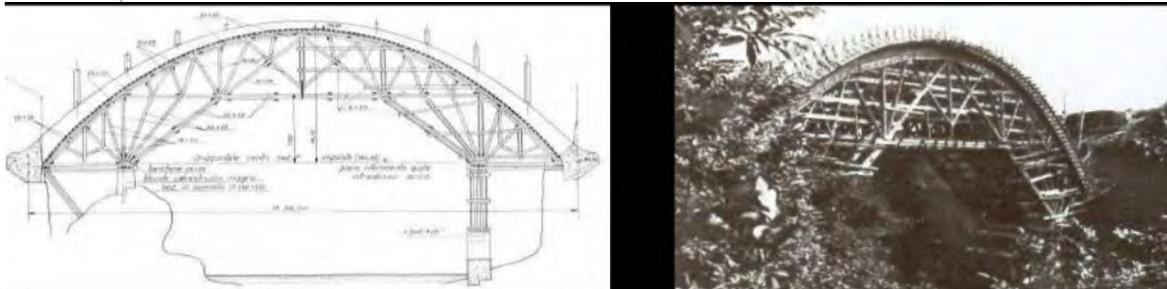


Cerniera provvisoria in chiave



Tipica cerniera in c.a. al piede della pila

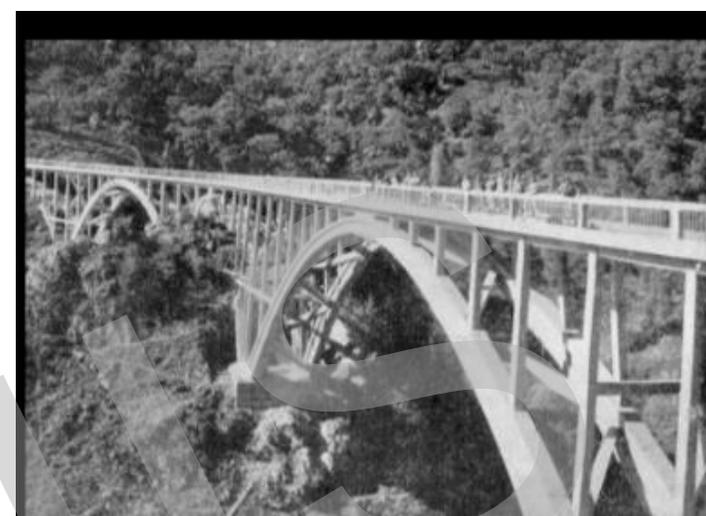
Arco iperstatico



Ponte Brembo a Bergamo
Luigi Santarella 1927



Lavori di ristrutturazione



Ponte Vergai a Villacollemandina (Lucca)
Arturo Danusso 1932



ristrutturato di recente

Ponte di Albaredo d'Adige (Verona)
di Giulio Krall 1947 – ristrutturato di recente



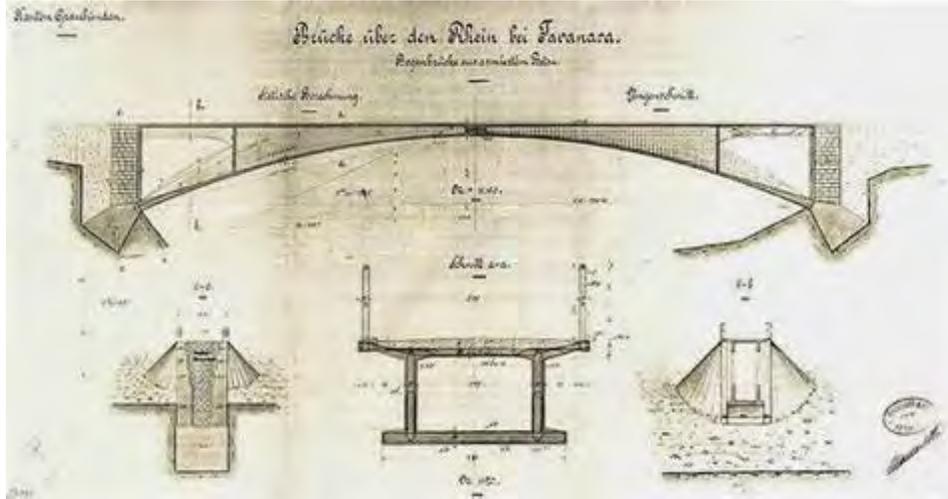
licazione delle linee guida per i ponti esistenti

Ponti ad arco di tipo Maillart (elevata rigidezza dell'impalcato rispetto a quella dell'arco sottile)



Arco prevalentemente compresso Saltinatoba 1930 in Svizzera

Arco a 3 cerniere



Genazzano

Valle di Tschiel in Svizzera realizzato nel 1925

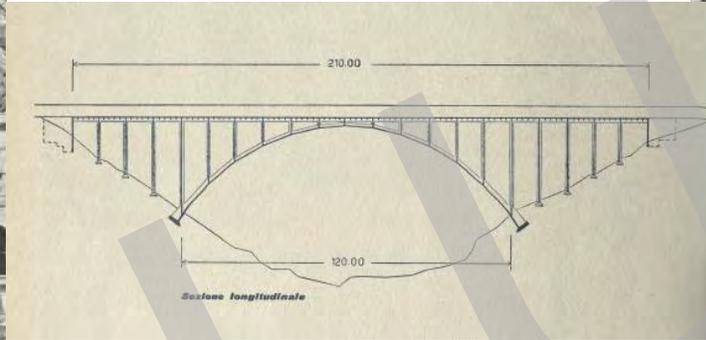


linee g

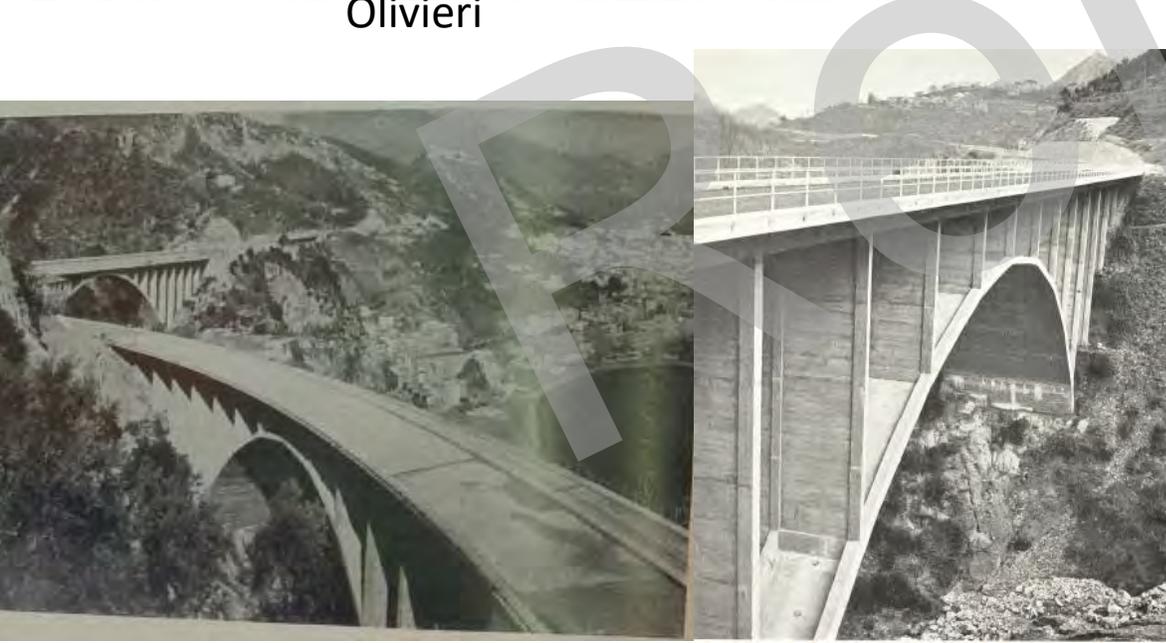
Molto diffuso negli anni '60 Arco Maillart



Olivieri

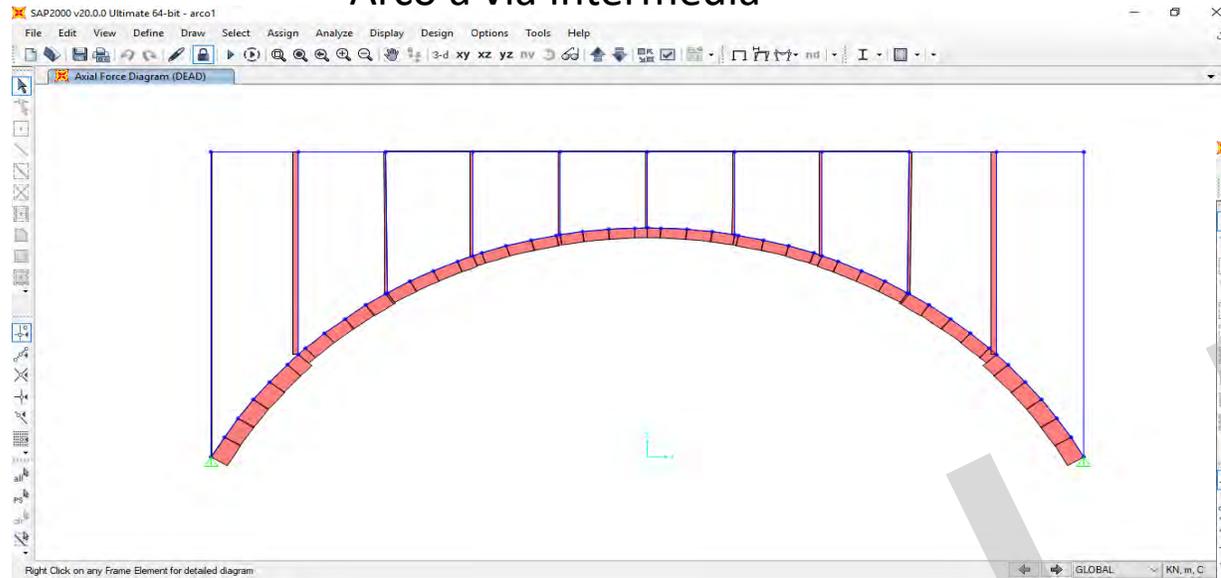


Caiafa

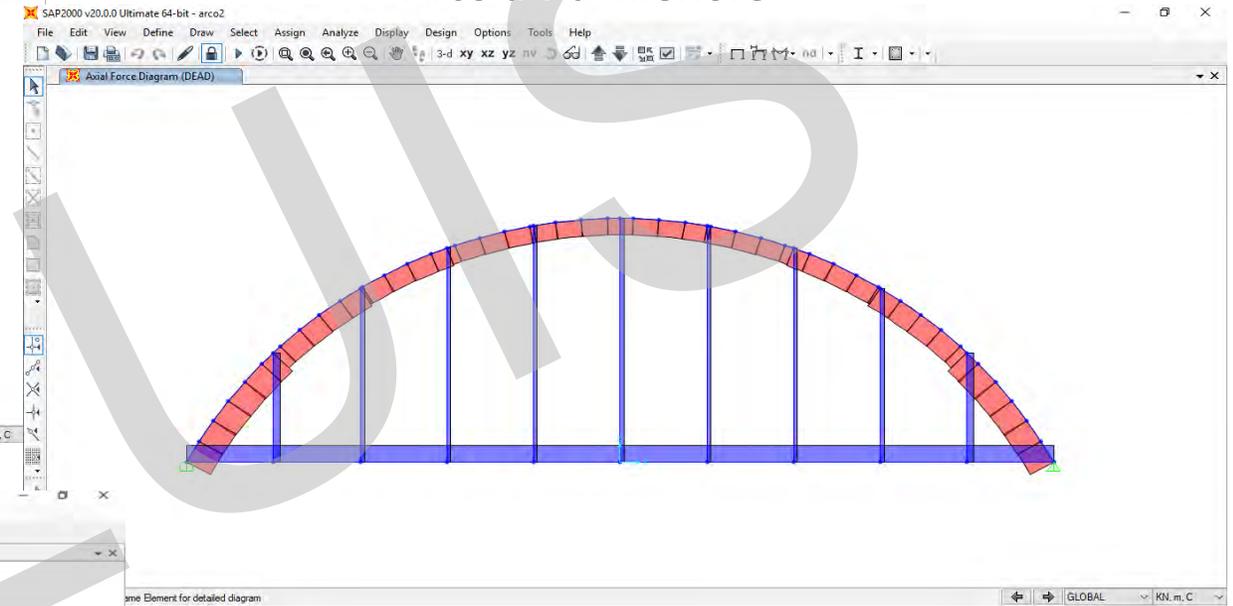


e d
ne

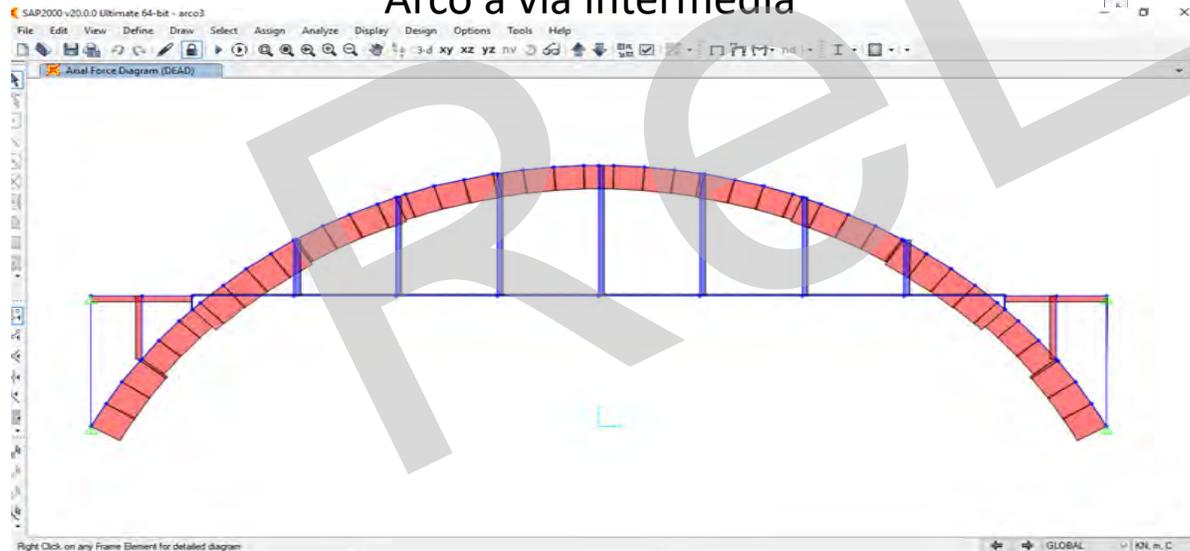
Arco a via intermedia

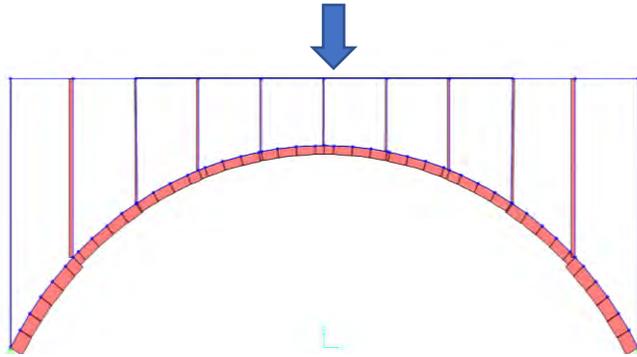


Arco a via inferiore

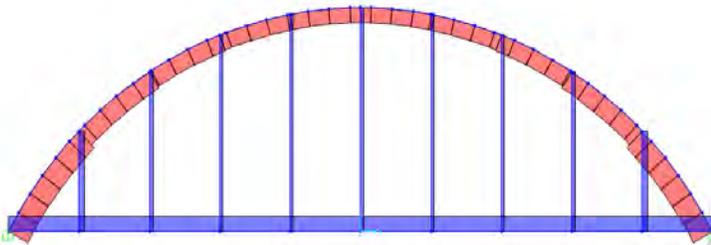


Arco a via intermedia

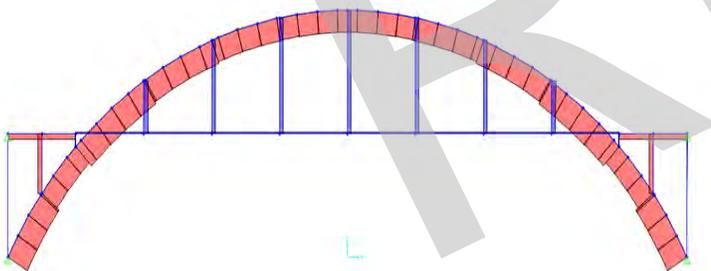




Quando il carico passa sull'impalcato i piedritti sono compressi
L'impalcato è inflesso come trave continua
L'arco è prevalentemente compresso e inflesso in alcune sezioni
Nasce una spinta orizzontale al piede

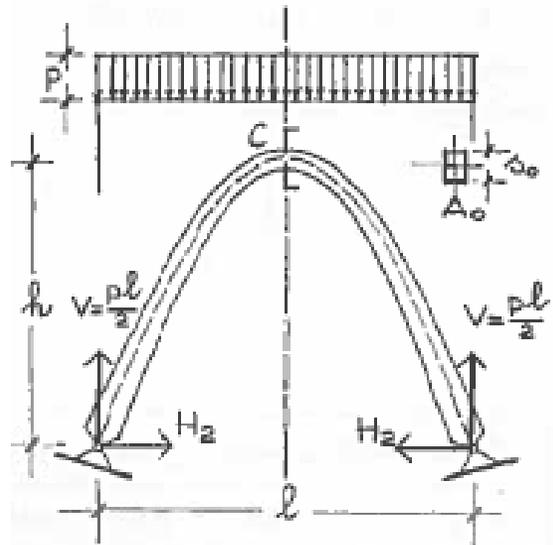


Quando il carico passa sull'impalcato i piedritti sono tesi
L'impalcato è inflesso come trave continua
L'arco è prevalentemente compresso e inflesso in alcune sezioni
Nasce una spinta orizzontale al piede che può essere eliminata dall'impalcato
(arco a spinta eliminata)

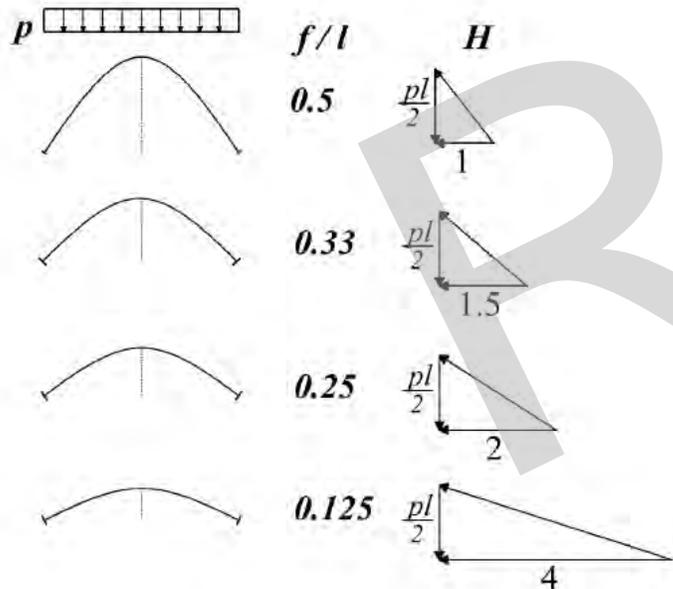


Quando il carico passa sull'impalcato i piedritti al di sotto sono compressi e quelli al di sopra sono tesi
L'impalcato è inflesso come trave continua
L'arco è prevalentemente compresso e inflesso in alcune sezioni
Nasce una spinta orizzontale al piede

Le sollecitazioni negli archi



Un aspetto caratteristico dell'arco è la presenza di una reazione vincolare orizzontale (spinta)



La spinta nell'arco iperstatico a 2 cerniere è molto prossima a quella dell'arco isostatico a 3 cerniere

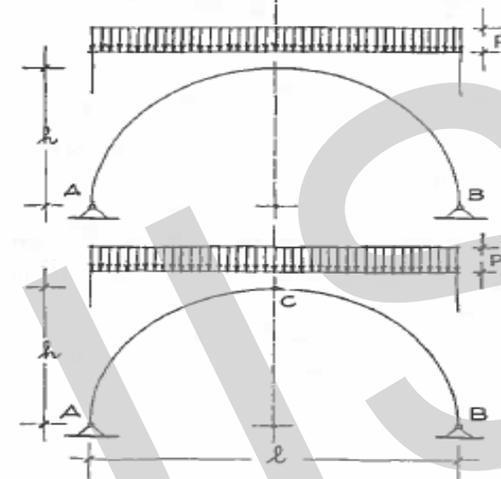
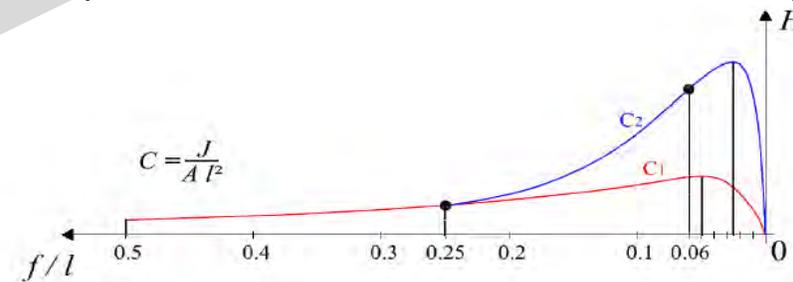


Fig. 3.11.

l/l	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
H_2/pl	1,23	0,82	0,61	0,48	0,39	0,33	0,28	0,24	0,21
H_3/pl	1,25	0,83	0,63	0,50	0,42	0,36	0,31	0,28	0,25

arco a 2 cerniere
arco a 3 cerniere

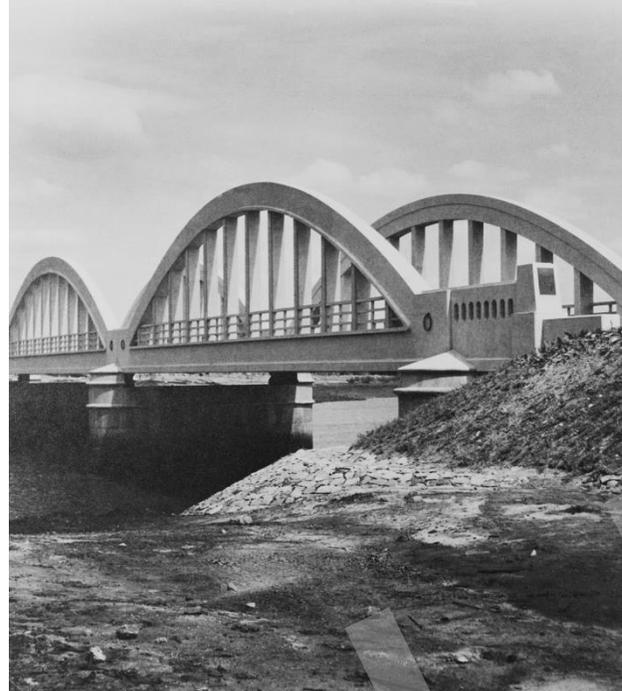
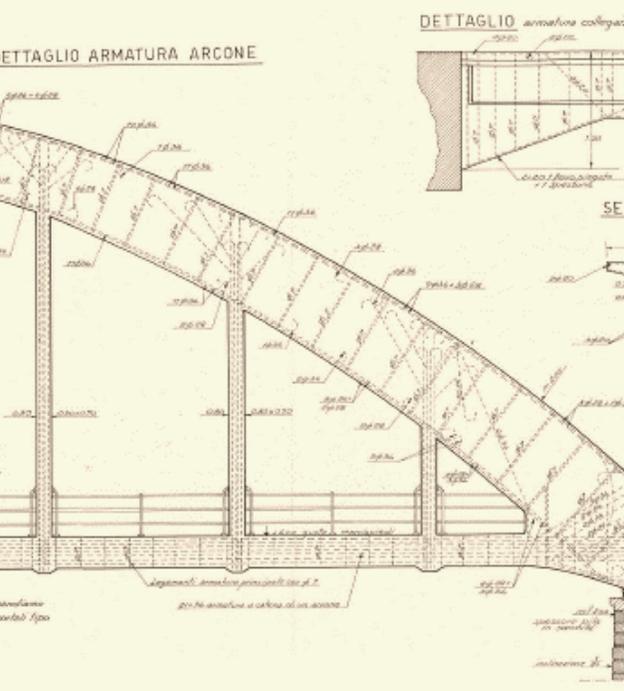
il valore della componente orizzontale della reazione aumenta al diminuire della freccia di un arco. Tuttavia per valori molto bassi improvvisamente si riduce diventando zero per lo schema di trave



La curva contrassegnata con il numero 1 è relativa ad un arco dotato di elevata rigidezza flessionale e mentre la curva 2 descrive l'andamento della spinta in un arco deformabile, adatto cioè a resistere a sollecitazioni di compressione ma non di taglio e flessione.

Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

Lezione 1 - Le linee guida per i ponti esistenti



Ponti ad arco a via inferiore

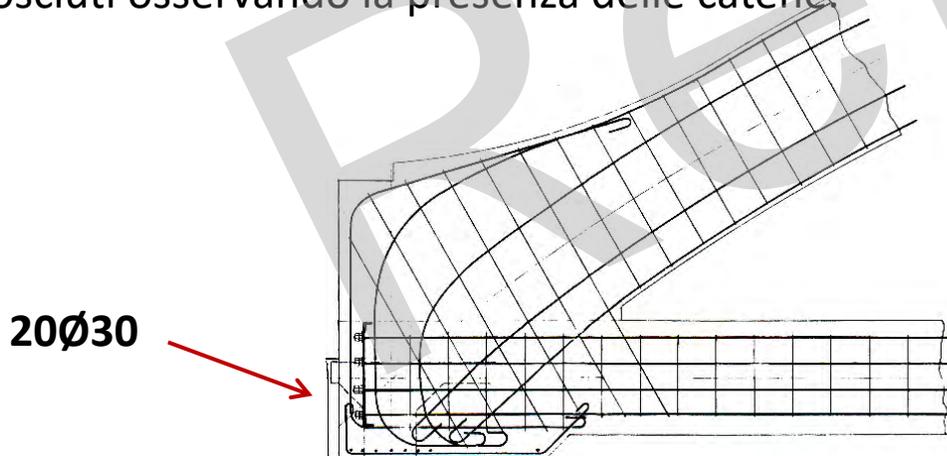
- Tipologia costruttiva della prima metà del Novecento;
- Usata raramente in quanto costosa e complicata da realizzare;
- Luci tipiche 30 ÷ 60 [m] ;
- Utilizzata nei casi in cui il franco tra la strada e l'ostacolo da superare era limitato.



Arco incastrato → l'arco è struttura portante principale e l'impalcato è struttura secondaria, i carichi applicati all'impalcato vengono trasmessi all'arco tramite i pendini. **La componente orizzontale della spinta dell'arco viene trasmessa alle spalle.** Possono essere riconosciuti principalmente osservando l'intradosso dell'impalcato in quanto mancano le travi longitudinali, e dai rapporti dimensionali arco/impalcato.



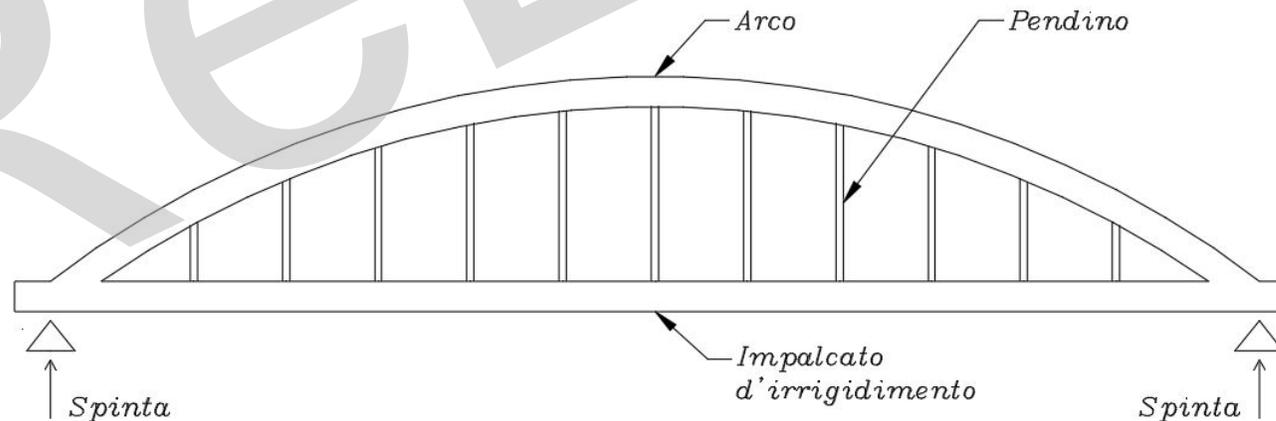
Arco a spinta eliminata → è la tipologia più diffusa. **All'impalcato viene affidato il compito di assorbire la spinta sulle sezioni di imposta, sgravando quindi i vincoli dal compito di esplicare reazioni orizzontali.** La spinta è assorbita da specifiche travi longitudinali fortemente armate posizionate sotto agli archi denominate «**catene**». Possono essere riconosciuti osservando la presenza delle catene.



CATENE

Arco rigido – impalcato snello → inizialmente, l'impalcato snello è sostenuto da una cortina di pendini, in cui la distribuzione delle tensioni corrisponde alla variazione dei carichi variabili a cui è soggetto l'impalcato. L'arco, di spessori notevoli, è visto come struttura portante principale e l'impalcato come una struttura secondaria. Schema generalmente adottato nel caso di archi spingenti.

Sistema combinato arco snello – impalcato rigido → è composto da una trave di irrigidimento predominante la quale è soggetta a momenti flettenti e forze assiali indotte dall'arco. L'arco è principalmente caricato a compressione, poiché l'impalcato assorbe gli sforzi dovuti ai carichi mobili senza deformazioni eccessive.



Arco a travata Nielsen → nel sistema Nielsen, che prende il nome dal suo inventore, **i pendini sono inclinati secondo due direzioni simmetriche** rispetto alla verticale in modo da creare una sorta di **reticolare**. La migliore collaborazione tra arco ed impalcato consente di diminuire la dimensione di questi due elementi strutturali. I pendini, che devono essere messi in tensione per contrastare gli sforzi assiali che possono nascere di conseguenza al transito dei carichi mobili, possono essere in acciaio o cemento armato precompresso. Con questa tecnica si riduce notevolmente il peso proprio dell'intera struttura, consentendo di raggiungere luci maggiori (oltre i 100m).



Principalmente **assemblaggio in opera con centina**, l'impalcato è costruito tramite l'utilizzo di pile provvisorie, la centina che permette la costruzione dell'arco viene appoggiata direttamente sull'impalcato. Successivamente alla costruzione dell'arco vengono messi in opera i pendini, quindi rimossa prima la centina, poi le pile intermedie provvisorie.

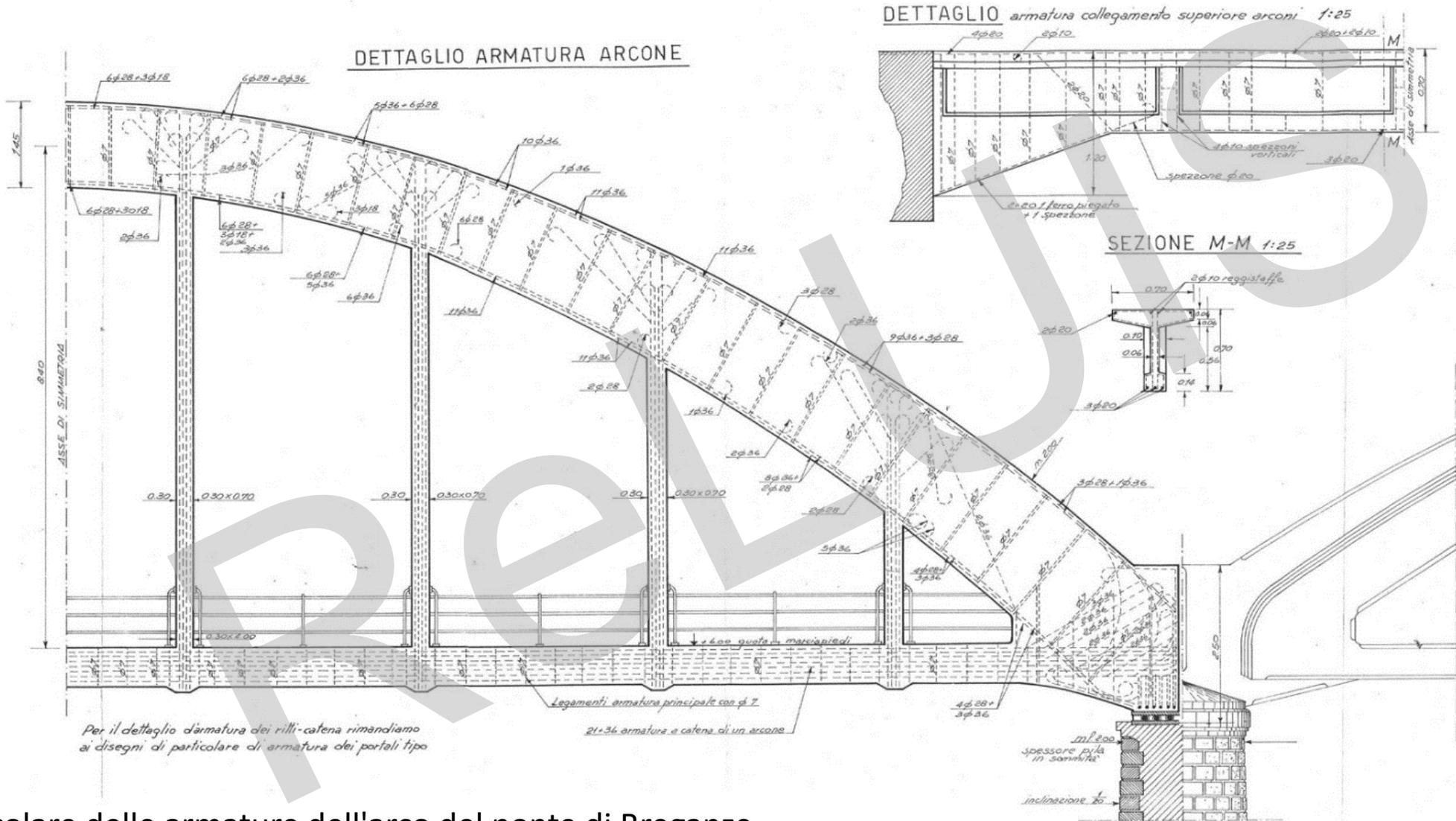
In alternativa, sistemi a centina autoportante ad arco in acciaio che successivamente diventa l'armatura definitiva dell'arco. Metodi di costruzione con assemblaggio fuori opera e varo vengono usati raramente .



Ponte dell'Appia sul Garigliano



Ponte di Gramignazzo

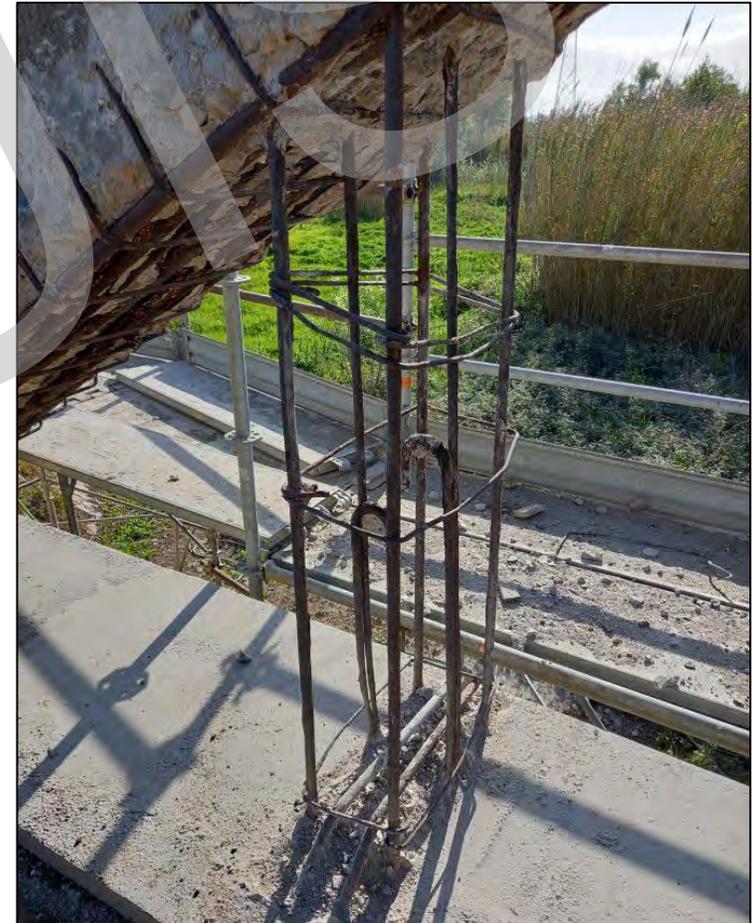
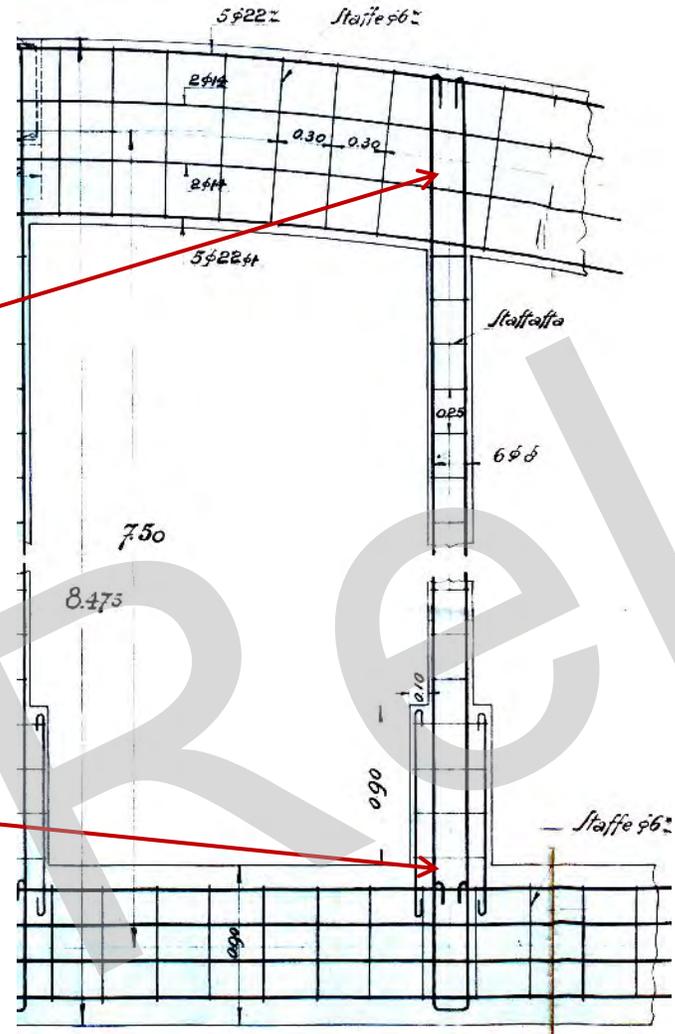
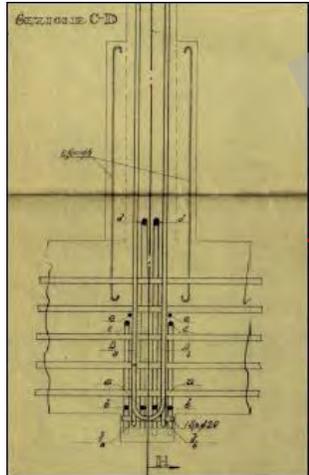
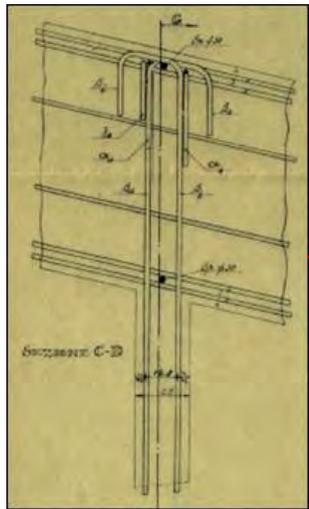


Particolare delle armature dell'arco del ponte di Breganze

Elementi del ponte ad arco a via inferiore – pendini in c.a.

Connessione arco-pendino e impalcato-pendino → ipotesi originale di progetto: incernierati agli estremi

nella realtà → Trasmissione modesta azione flettente



Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

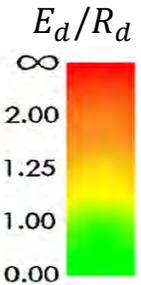
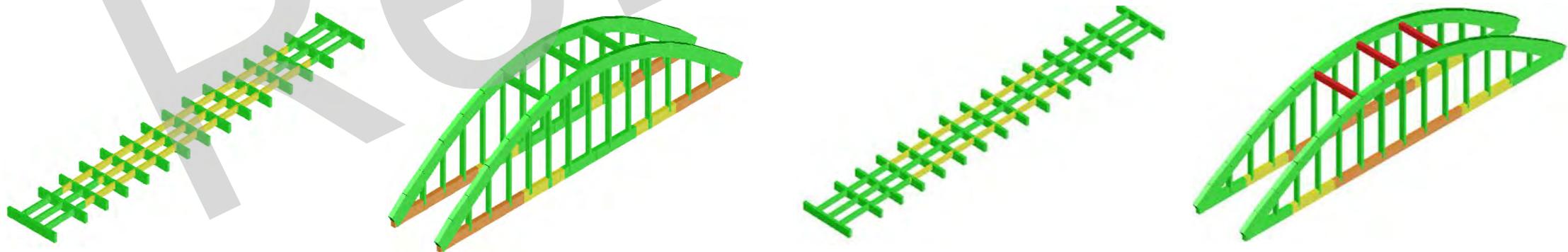
Lezione 1 - Le linee guida per i ponti esistenti

Principali criticità strutturali

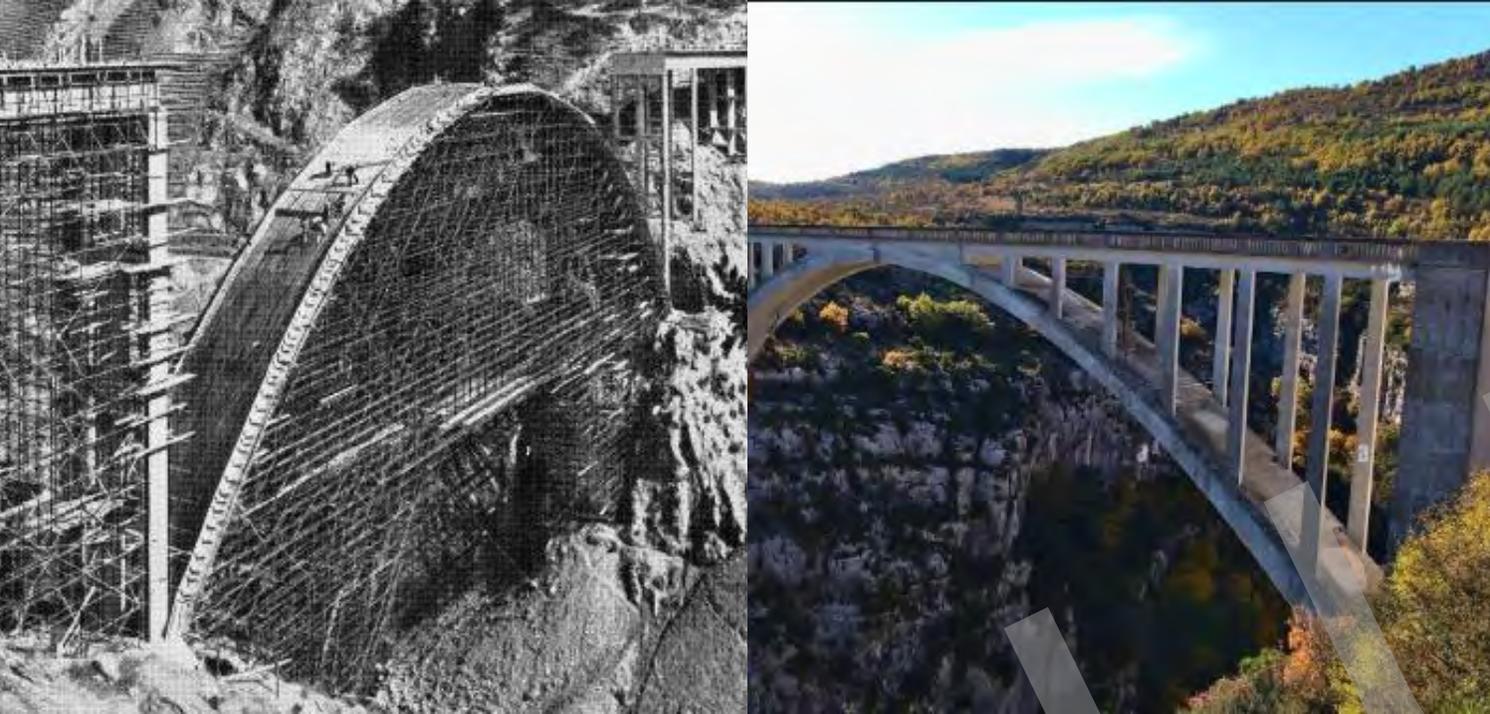
	CRITICITA'	CAUSE
STATICA	<ul style="list-style-type: none"> → Pendini → Travi longitudinali interne → Soletta → Catene 	<ul style="list-style-type: none"> Aumento carichi da traffico Scarsa capacità di ripartizione della soletta
SISMA	<ul style="list-style-type: none"> → Controventi tra archi → Sottostrutture 	<ul style="list-style-type: none"> Mancato dimensionamento o sottodimensionamento
STATICA e SISMA	<ul style="list-style-type: none"> → Apparecchi di appoggio 	<ul style="list-style-type: none"> Assenza Sottodimensionamento azioni statiche Mancato dimensionamento azioni sismiche

VERIFICHE STATICHE

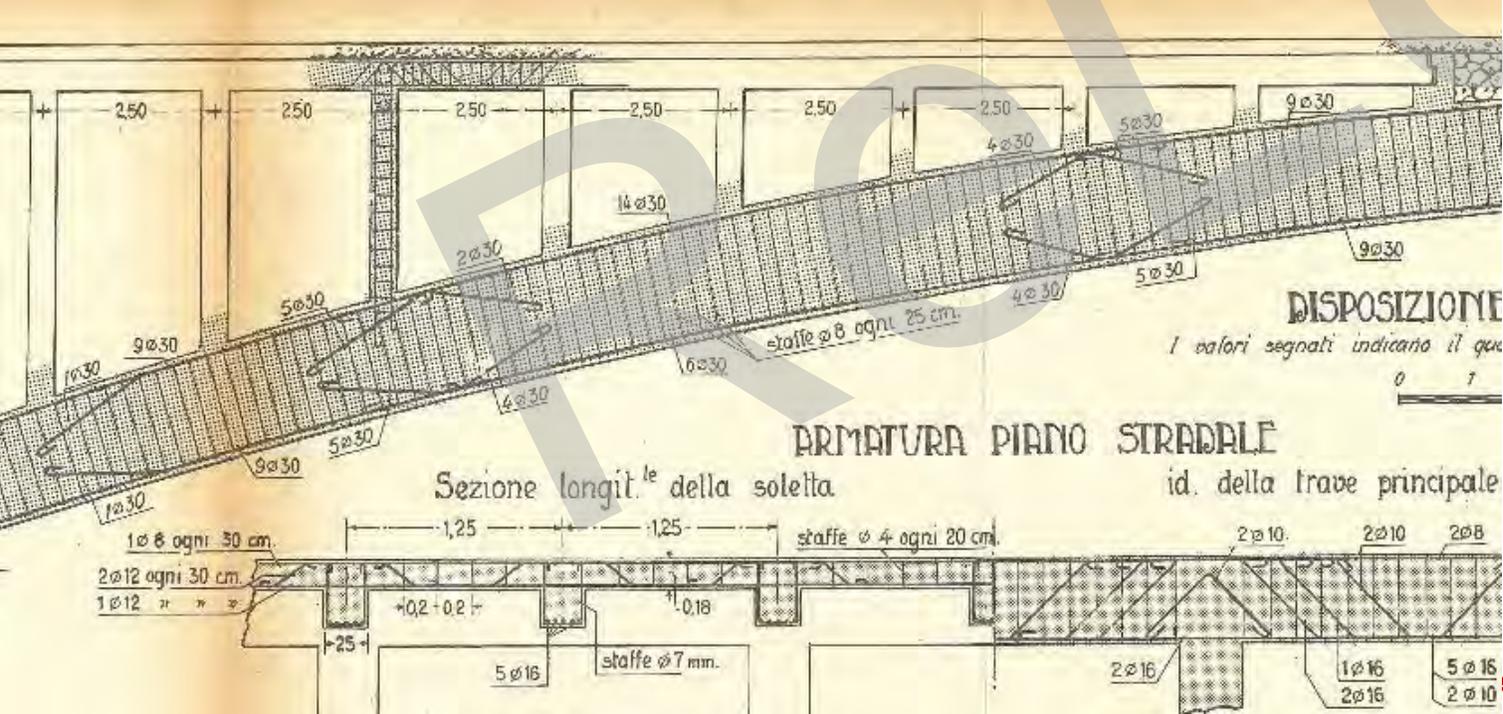
VERIFICHE SISMICHE



Ponti ad arco a via superiore



- I primi ponti risalgono alla fine del '800, ma si diffusero soprattutto negli anni '50 e '60;
- Luci tipiche 50 ÷ 70 [m] ;
- Per attraversare gole profonde oppure quando lo schema a travata risulta di difficile realizzazione.

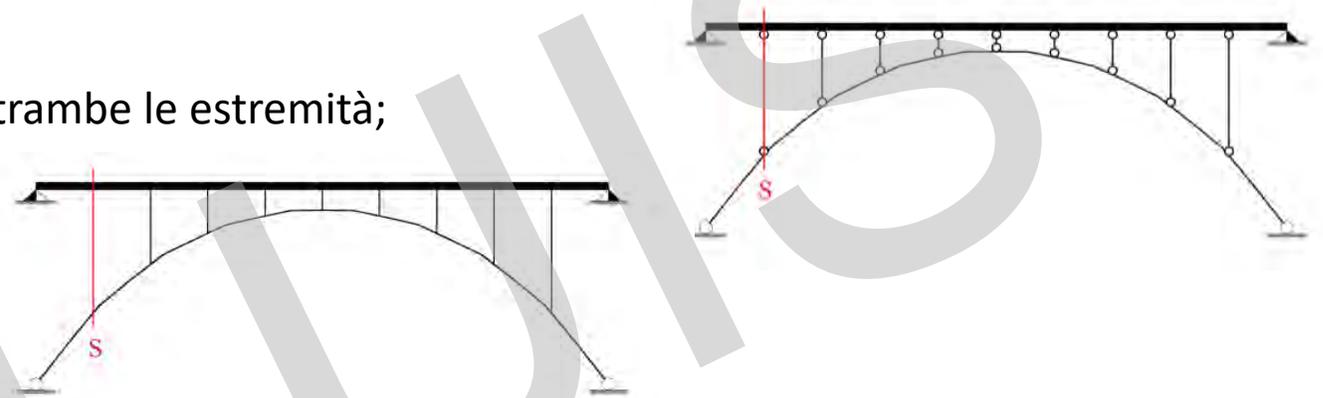


i ponti esistenti

sistenti

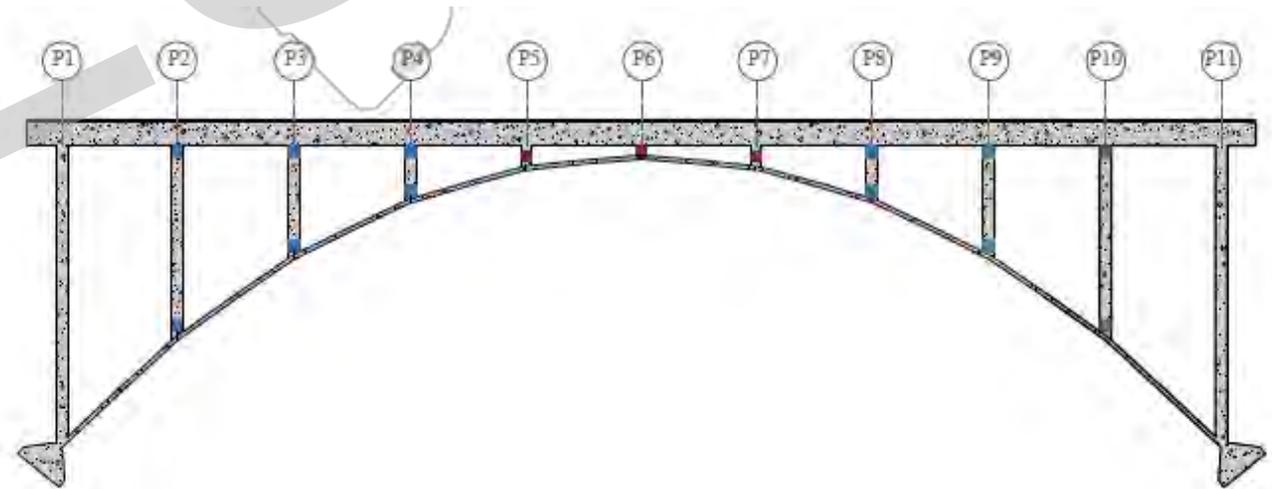
La variabilità dello sforzo normale nella volta è stata analizzata anche variando la condizione di vincolo alle estremità delle stilate, considerando i seguenti due casi:

1. Stilate come pendoli, vincolate con cerniere ad entrambe le estremità;
2. Stilate in continuità ad entrambe le estremità.

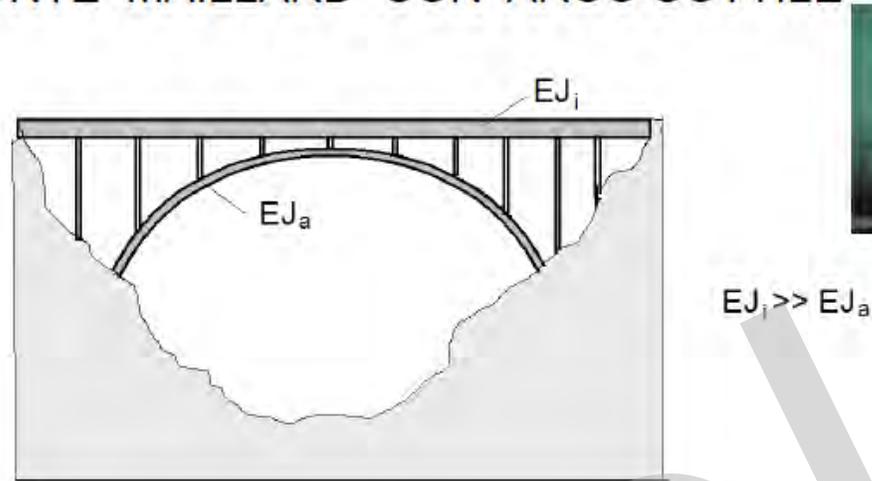


Principali criticità strutturali

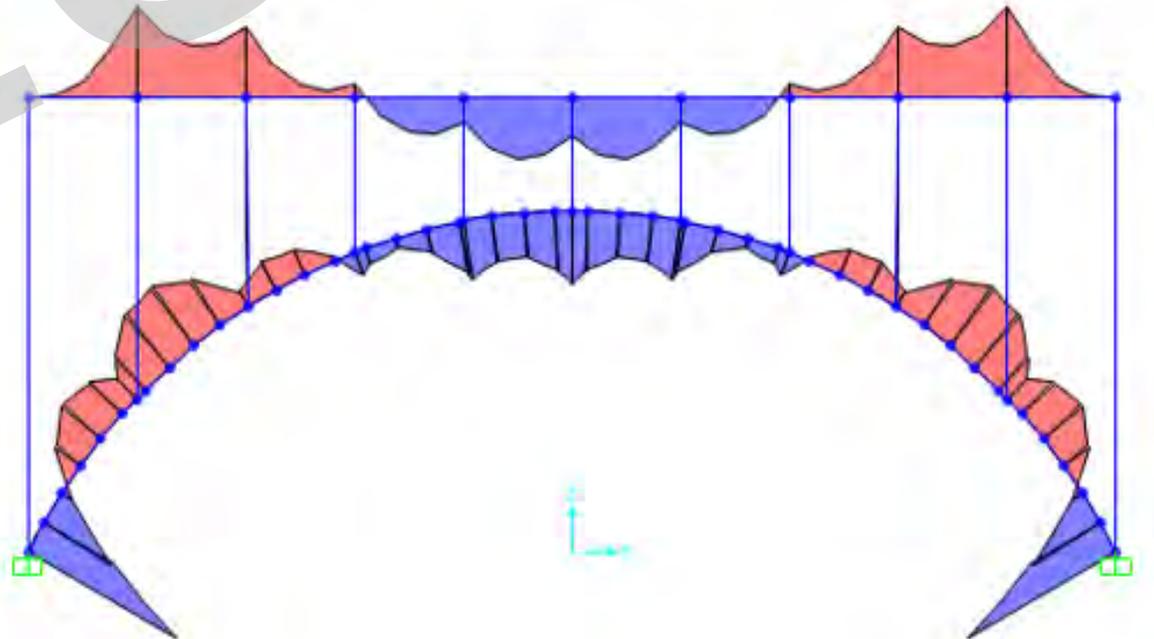
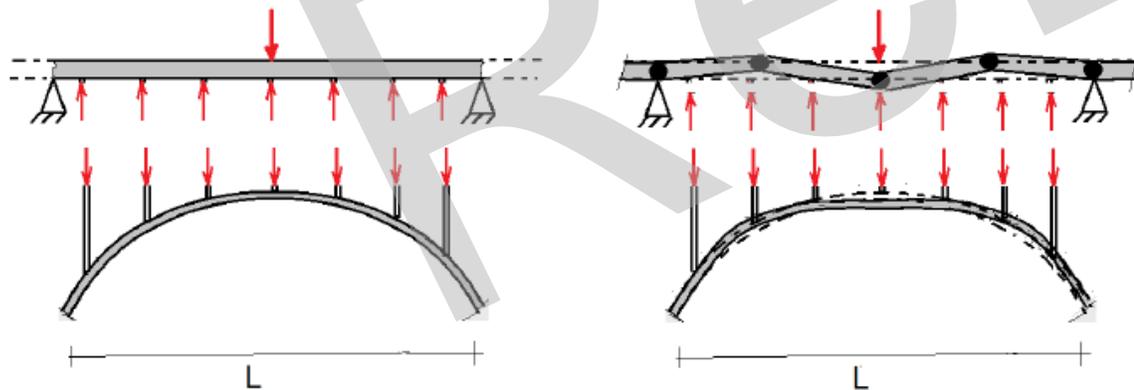
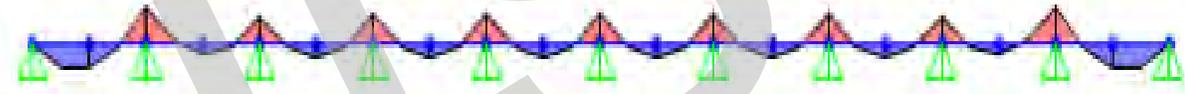
Crisi a flessione (in blu) e a taglio (in rosso) sotto azione sismica.



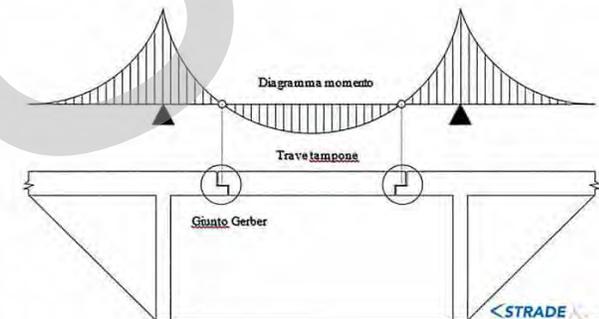
PONTE MAILLARD CON ARCO SOTTILE



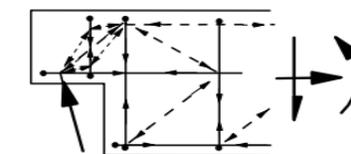
L'ipotesi di trave su appoggi fissi fornisce momenti sollecitanti sulla trave molto minori di quelli reali



Ponti in c.a. con sella Gerber anni '30-'50

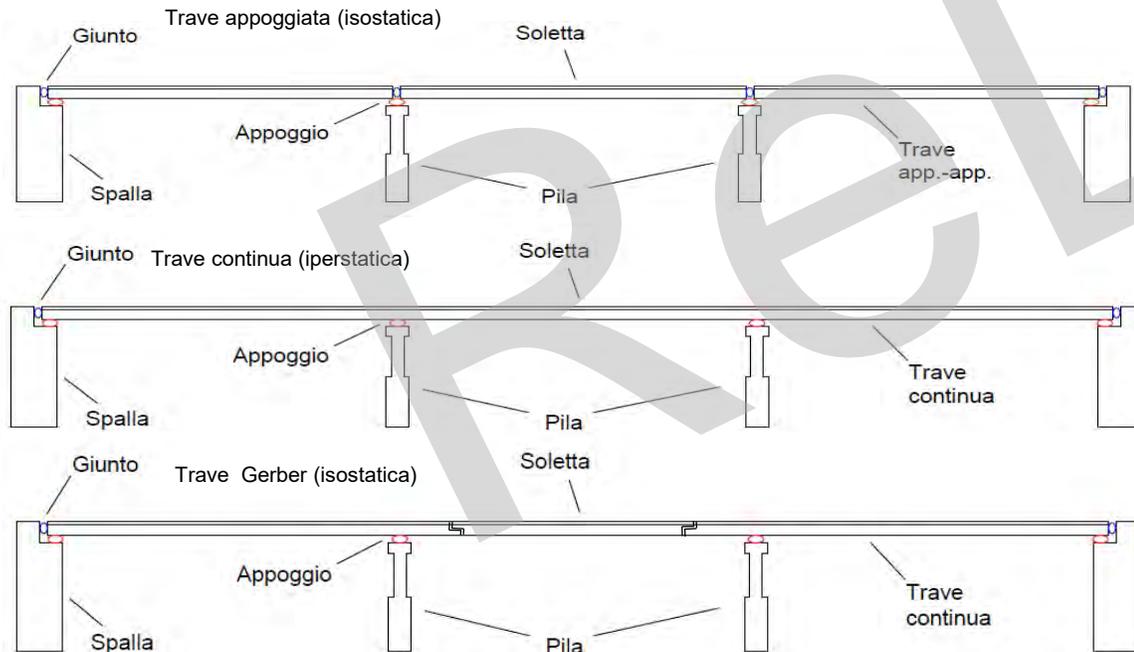


Ponte di Trezzo d'Adda Bergamo
Giulio Krall 1947

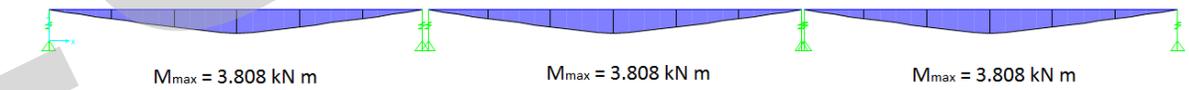


La sella Gerber è un elemento con comportamento specifico che sarà trattato in apposita lezione

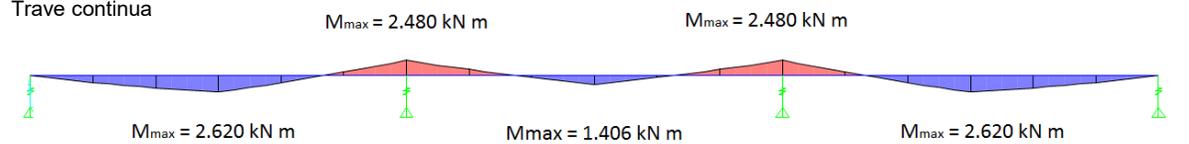
Ponti in cemento armato a travate appoggiate o continue



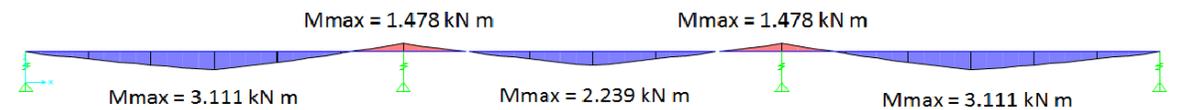
Trave appoggiata

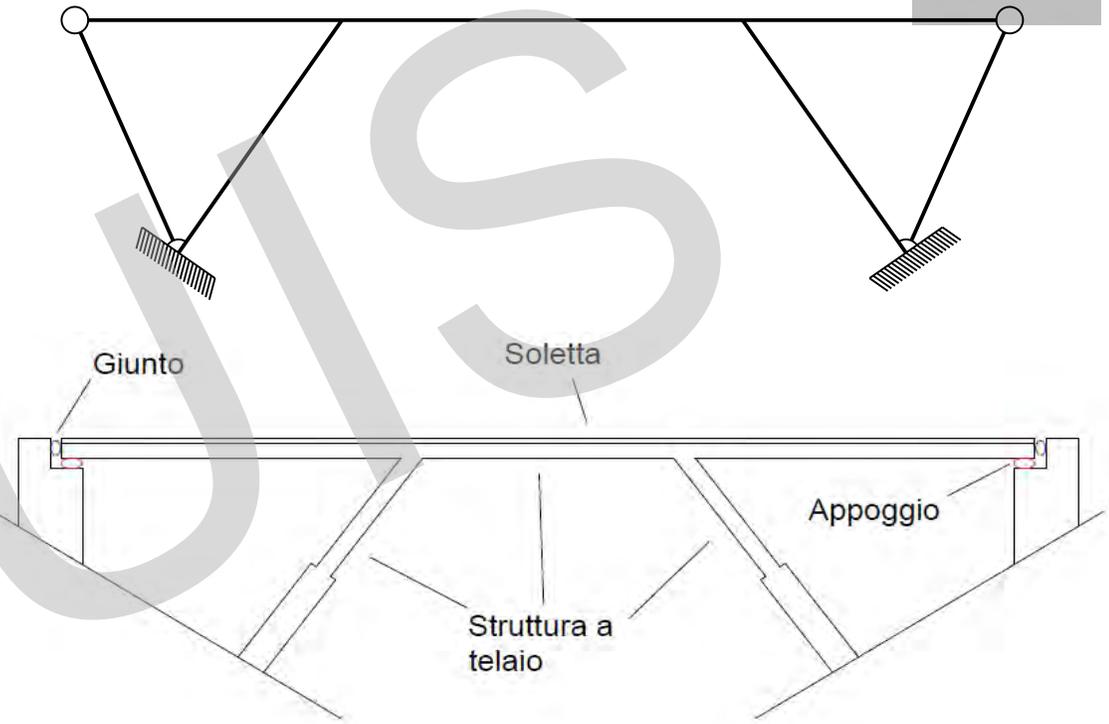
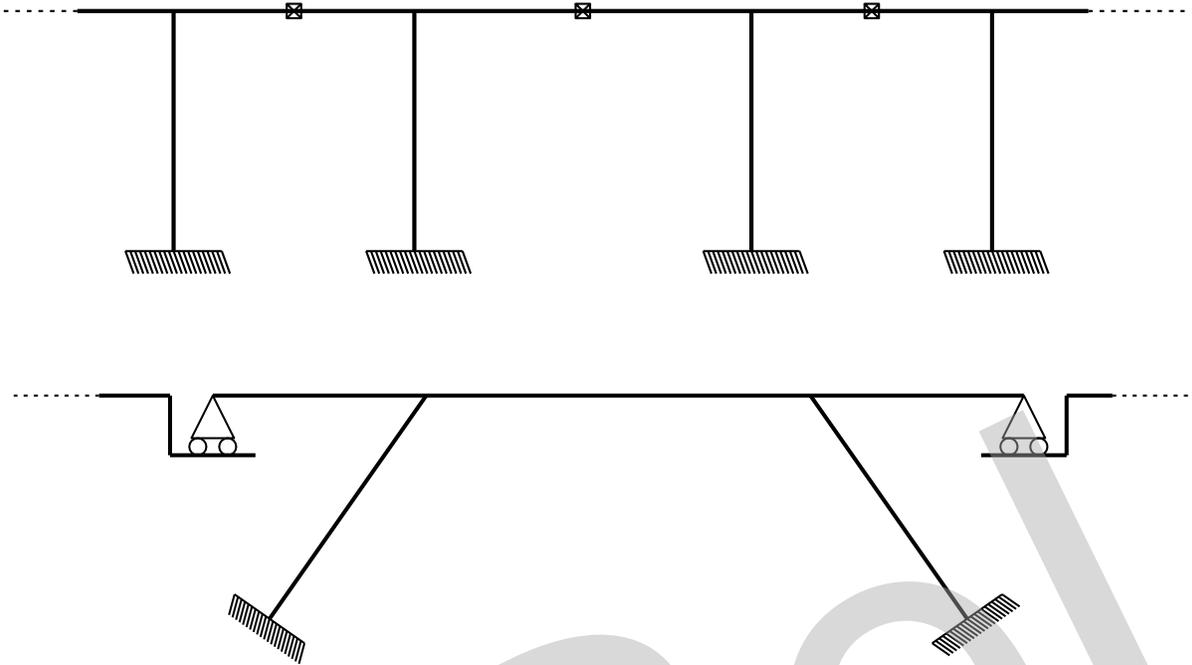


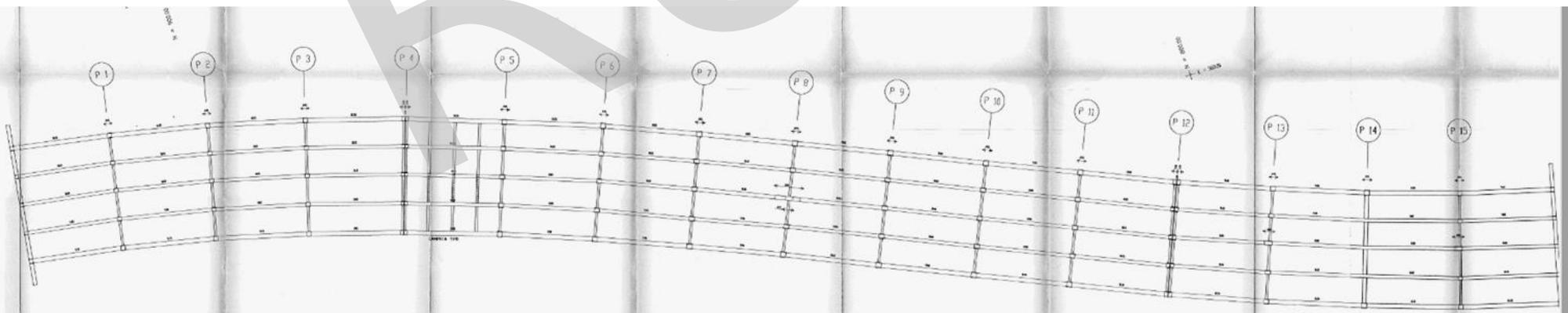
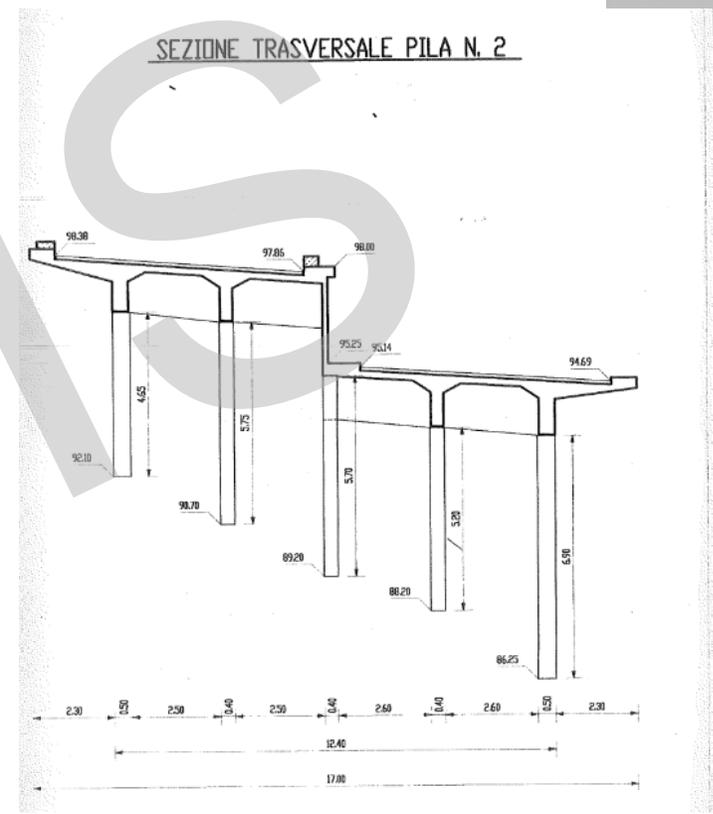
Trave continua



Trave Gerber







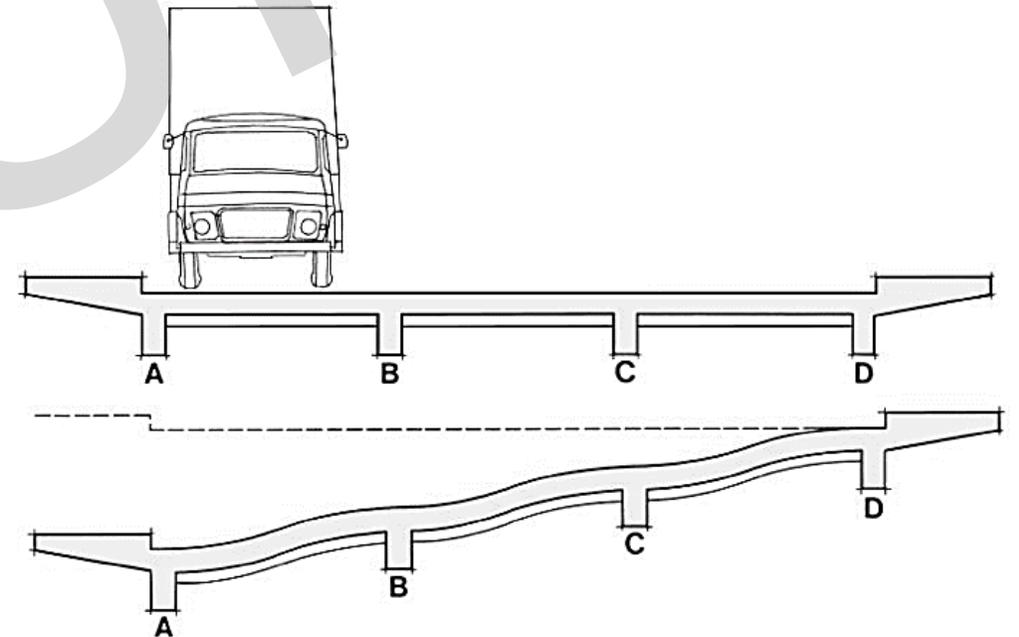
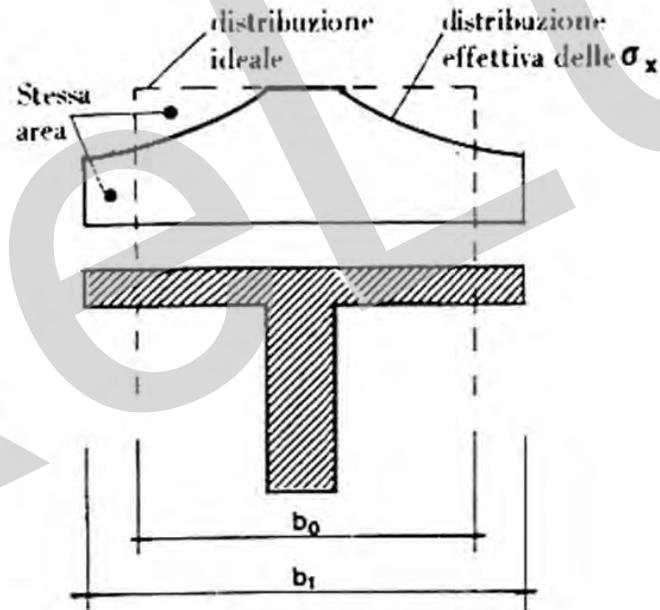
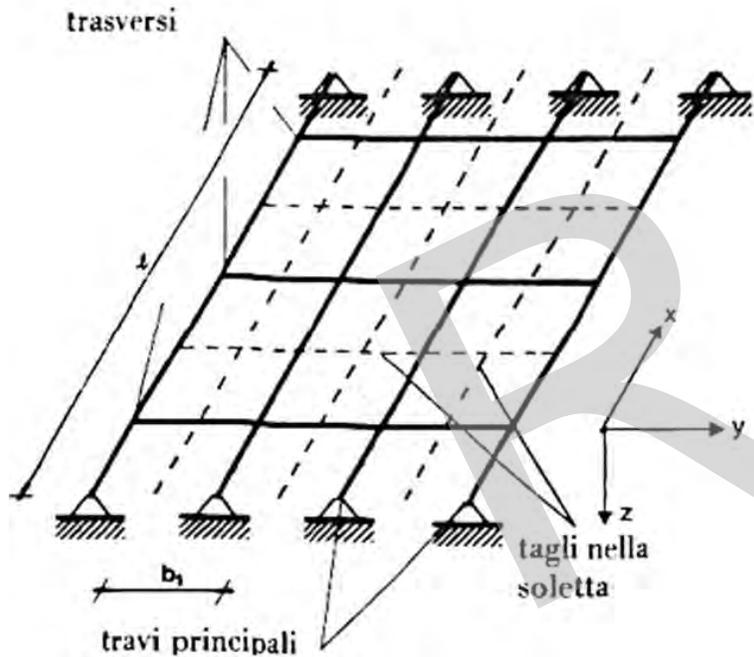


applicazione delle linee guida
e 1 - Le linee guida per i po

I ponti a graticcio risultano formati da più elementi longitudinali rettilinei (travi), collegate tra loro dalla soletta e, in molti casi, da elementi trasversali (traversi).

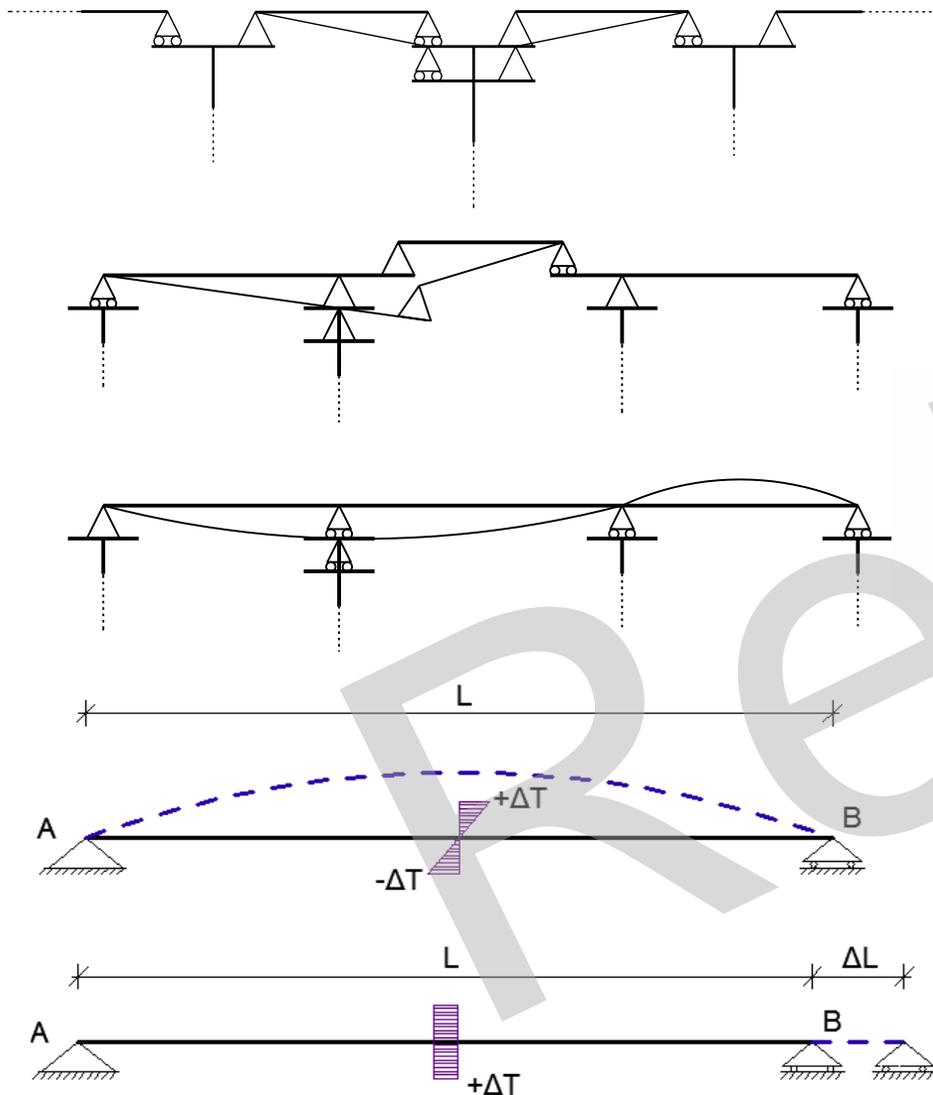
Schematizzazione di calcolo: piano costituito da sole travi e traversi, pensando di effettuare dei tagli ideali nella soletta parallelamente alle nervature.

La **ripartizione trasversale** dipende dalle rigidità dei vari elementi costituenti il graticcio



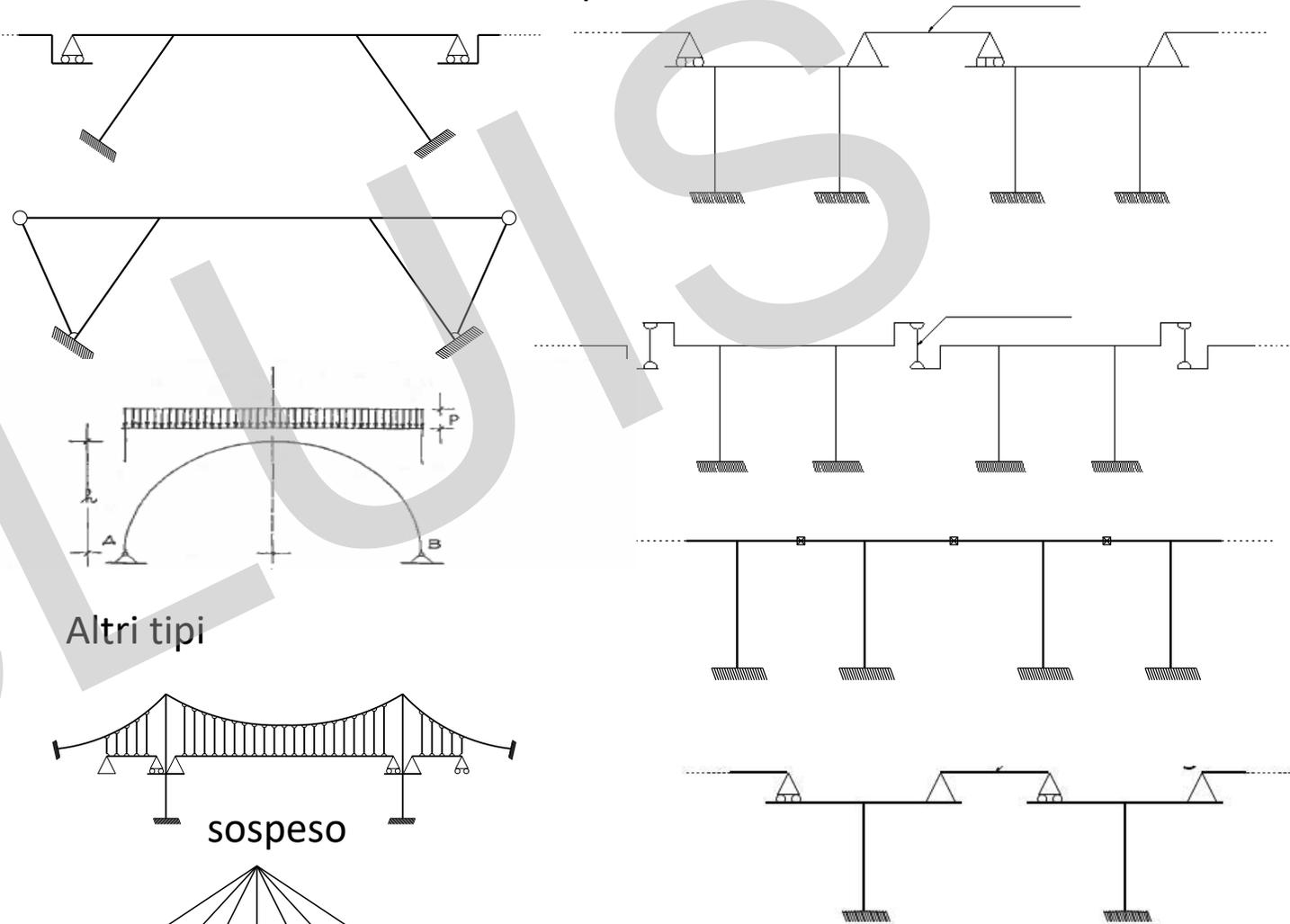
Schemi isostatici

Le distorsioni provocano solo spostamenti ma non sollecitazioni

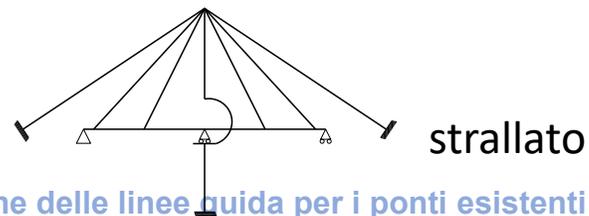
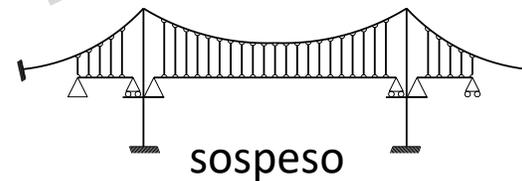


Schemi iperstatici

Le distorsioni provocano sollecitazioni



Altri tipi



SERGIO MUSMECI



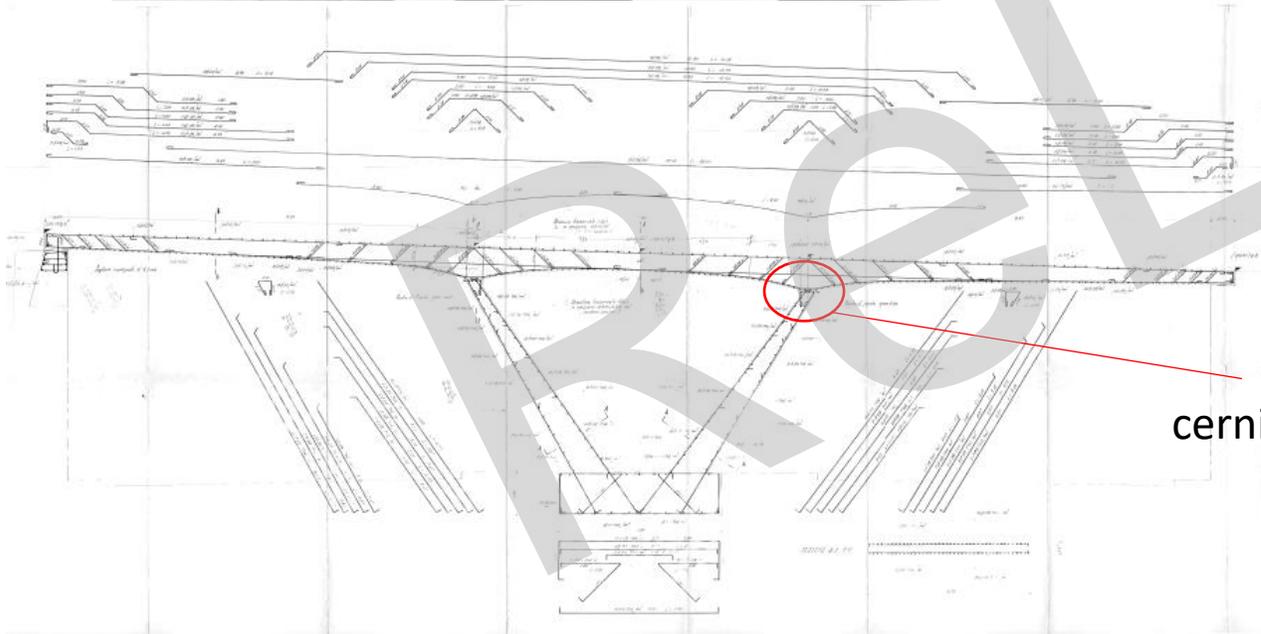
La struttura in calcestruzzo si alterna in un insieme di forme concave e convesse che disegnano quattro archi e che toccano alternativamente il suolo sotto il viale.

La forma finale, quindi, è il risultato dell'ottimizzazione, che garantisce la massima efficienza in termini di prestazioni e utilizzo di materiale.



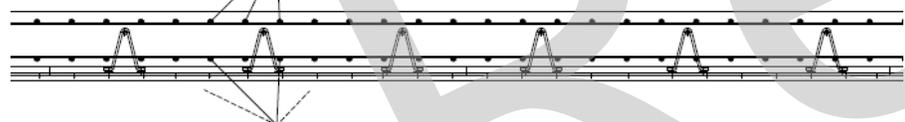
Gli aspetti strutturali del c.a. riguardano anche le pile e le spalle

Le pile sono quasi sempre in c.a. anche nei ponti in c.a.p.



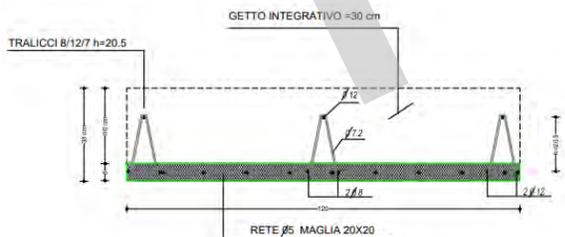


armature principali



soletta gettata su predalles prefabbricate

armatura all'estradosso



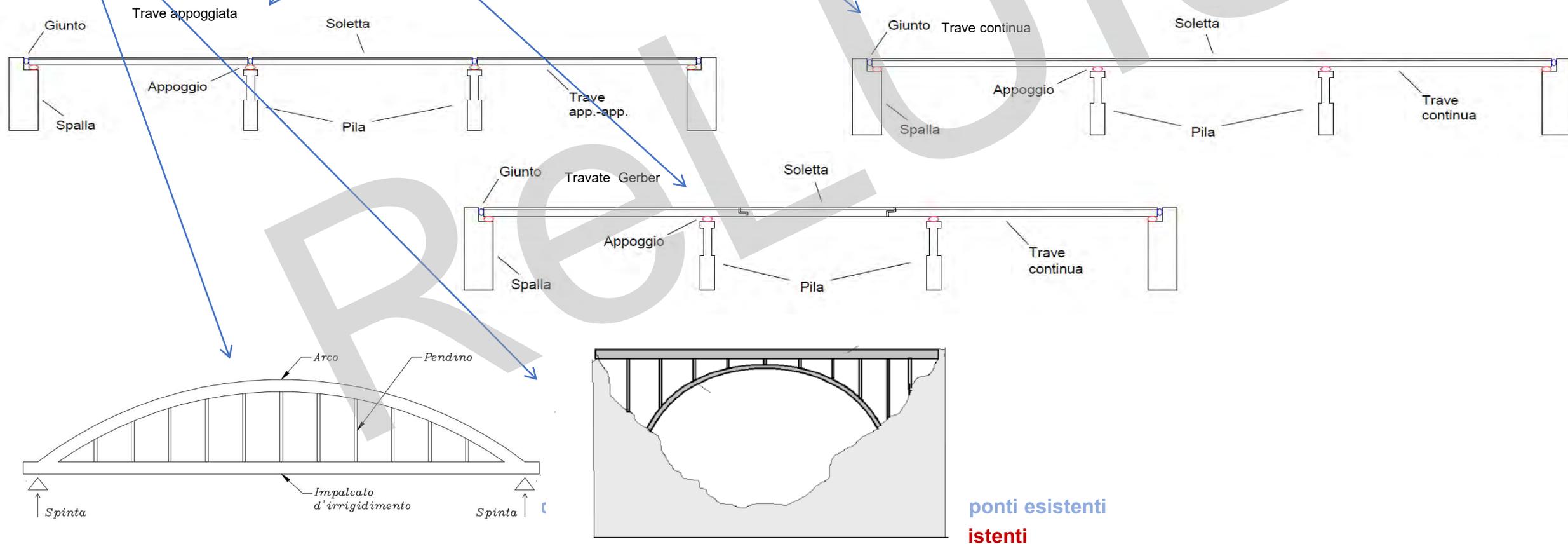
La presenza delle predalles si rileva all'intradosso dalla modularità degli elementi

Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

Lezione 1 - Le linee guida per i ponti esistenti

Tipologia strutturale

- | | | | | |
|-------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| <input type="radio"/> Arco in Muratura | <input type="radio"/> Travate appoggiate | <input type="radio"/> Travate continue | <input type="radio"/> Soletta in C.A. | <input type="radio"/> Sezione tubolare in c.a. |
| <input type="radio"/> Arco in C.A. | <input type="radio"/> Travate Gerber | <input type="radio"/> Cassone in Precompresso | <input type="radio"/> Sezione tubolare in acciaio | <input type="radio"/> Arco in acciaio |
| <input type="radio"/> Strallato o sospeso | <input type="radio"/> Altro | | <input type="radio"/> Travate in c.a.p. a cavi post-tesi | |



3. Inquadramento dei difetti

Illustrazione dei “difetti” mettendo a fuoco la differenza tra danni indotti da sollecitazioni eccessive o azioni eccezionali e difetti dovuti a fenomeni di degrado cercando di dare alcune informazioni sul collegamento tra il difetto rilevato e la causa

RELUIS

1- Effetti delle sollecitazioni eccessive rispetto alla capacità

cause

- Carico da traffico complessivamente maggiori di quelli di progetto
- Carico da traffico con una configurazione più svantaggiosa come ad esempio assi con carichi concentrati elevati
- eventi eccezionali urti, terremoti
- Difetti di costruzione e carenze di progettazione**

sintomi

deformazioni elevate, fessurazione

2-Effetti del degrado dei materiali e dei componenti

cause

- Dilavamento e ristagno dell'acqua
- Invecchiamento degli appoggi elastomerici
- Corrosione delle armature
- Carenza di manutenzione programmata
- Difetti di costruzione e carenze di progettazione**

sintomi

macchie di umidità, distacco copriferro, fessurazione

Difetti di costruzione e carenze di progettazione

- Copriferri piccoli sulle barre di armatura
- Calcestruzzo di modesta qualità
- Imperfezioni di getto
- Deformazione delle casseforme
- Carenza di armatura



Carenza di armatura a taglio



1- Effetti delle sollecitazioni eccessive rispetto alla capacità

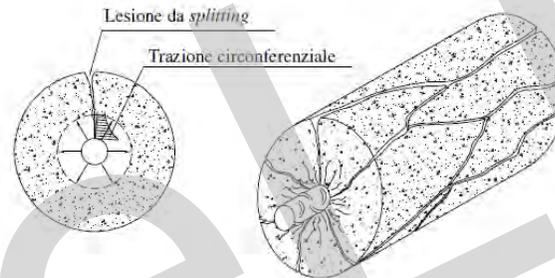
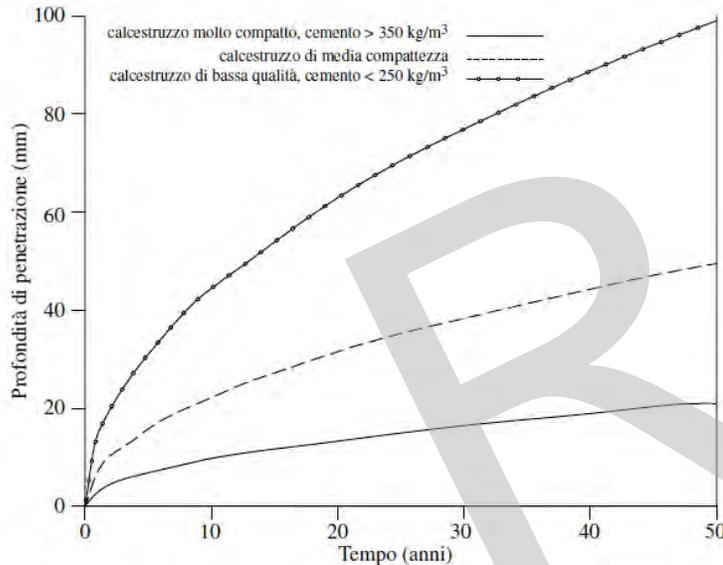
2- Effetti del degrado dei materiali e dei componenti

Difetti di costruzione e carenze di progettazione sicuramente influenzano la capacità e durabilità del ponte, cioè le 2 cause dei sintomi che si visualizzano durante le ispezioni.

Copriferro di modesto spessore o calcestruzzo di bassa resistenza

Lo spessore minimo dipende dalla classe di calcestruzzo

Il calcestruzzo protegge l'acciaio



Se il copriferro è di spessore troppo piccolo l'acciaio non risulta adeguatamente protetto. Inoltre l'aderenza si riduce perché si può verificare una rottura da splitting



granulometria inerti non selezionata correttamente



nidi di ghiaia, difetti di getto

Carenze di progetto:

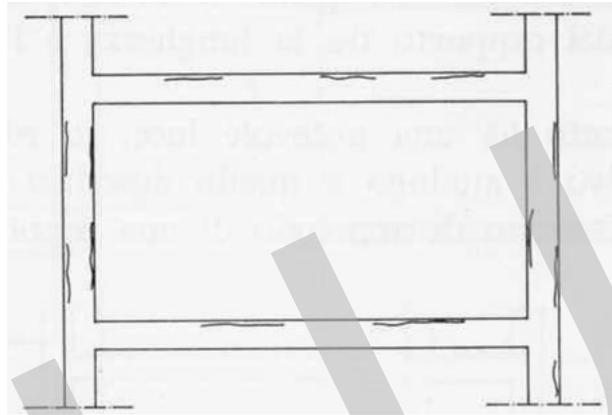
- Carichi
- Combinazioni di carico
- Dimensionamento sezioni
- Dimensionamento armature
- Insufficienza ancoraggi

La velocità di penetrazione della carbonatazione

La corrosione dell'armatura è la maggiore causa di degrado



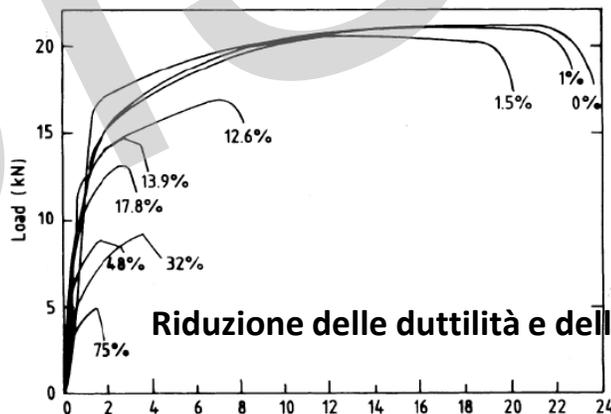
Fessurazione ed espulsione del copriferro con accelerazione del fenomeno



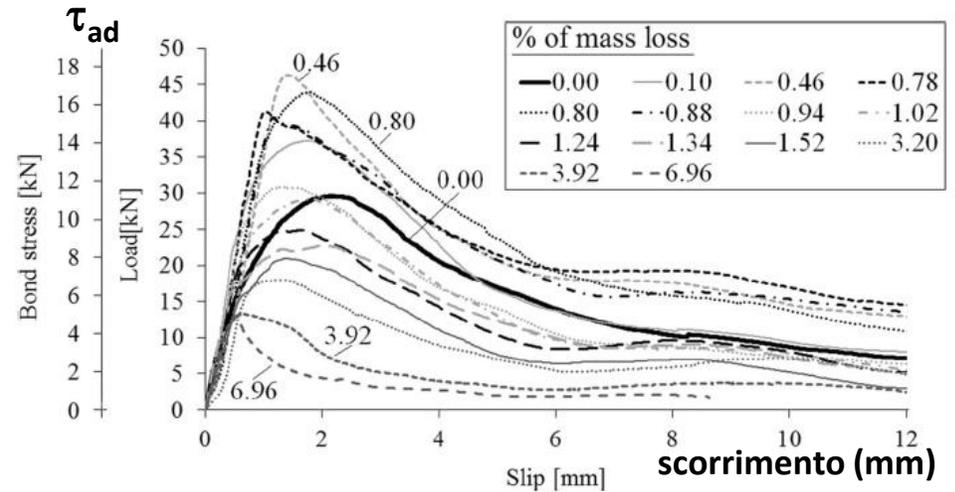
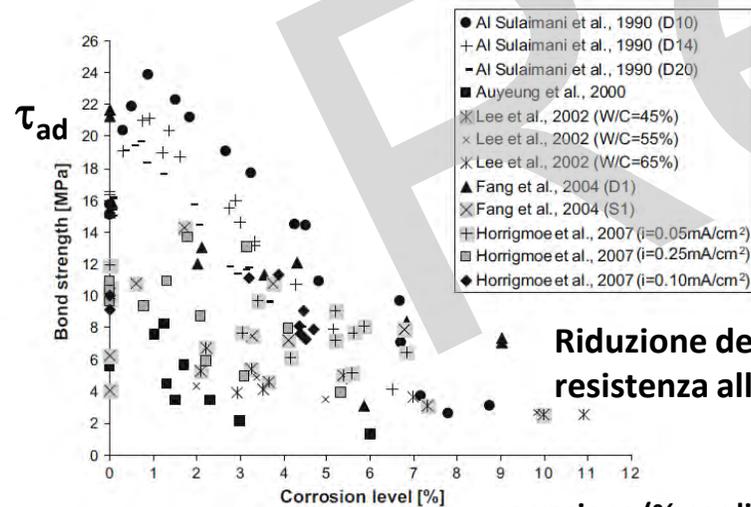
Riduzione delle sezioni e quindi della resistenza



Fessure per corrosione



Riduzione delle duttilità e della resistenza



applicazione delle linee guida 1 - Le linee guida

corrosione (% perdita di massa)

IL MODELLO DI TUOTTI PER COMPRENDERE IL LIVELLO DI DEGRADO DEGLI ELEMENTI COSTRUTTIVI INDOTTO DALLA CORROSIONE

PUNTO 1: OSSIDAZIONE ARMATURE

La carbonatazione riduce il PH del calcestruzzo che non protegge più l'acciaio

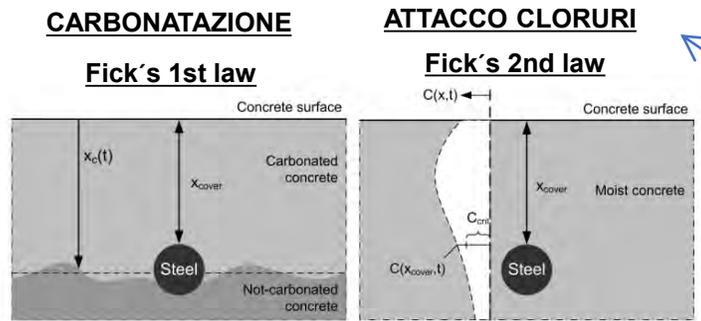
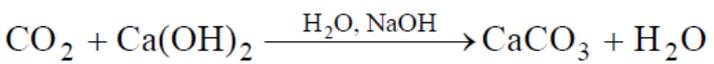
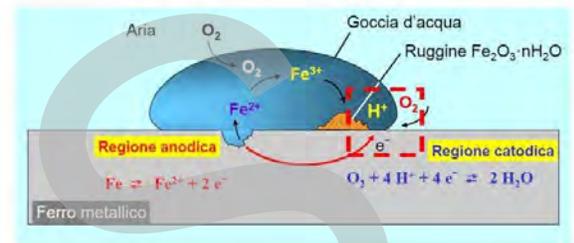
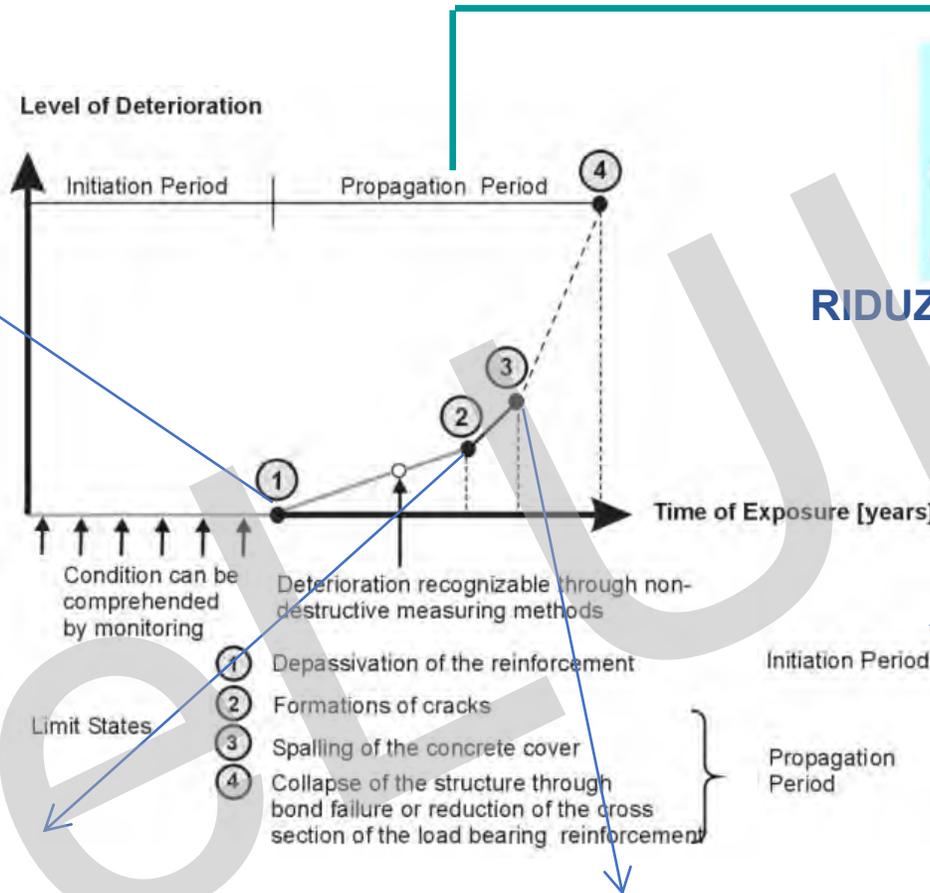
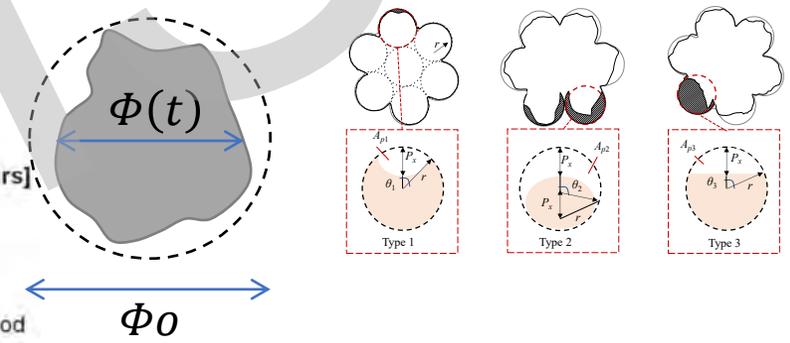


Figure 5-10: Limit states of depassivation due to carbonation (left) and chloride ingress (right) from fib Bulletin 34. Model Code for Service Life Design. 2006

Ex difetti correlati da linee guida:
 c.a./c.a.p._1: Macchie di umidità attiva
 c.a./c.a.p._2: Macchie di umidità passiva
 c.a./c.a.p._3: Cls dilavato/ammalorato ecc.



RIDUZIONE SEZIONE ARMATURE DA 1 A 4



Ex difetti correlati da linee guida:
 c.a./c.a.p._6: Armatura ossidata/corrosa
 c.a./c.a.p._16: Staffe scoperte/ossidate
 c.a.p._8: Fili aderenti in vista ossidati
 c.a.p._11: Arm. Scoperta / ossidata testate ecc.

PUNTO 2: FORMAZIONE FESSURE



Ex difetti correlati da linee guida:
 c.a./c.a.p._15: Lesioni in corrispondenza staffe
 c.a./c.a.p._18: Fessure longitudinali ecc.

PUNTO 3: SPALLING DEL COPRIFERRO



Ex difetti correlati da linee guida:
 c.a./c.a.p._5: Distacco del copriferro
 c.a./c.a.p._16: Staffe scoperte/ossidate
 c.a./c.a.p._18: Fessure longitudinali ecc.

L'EVOLUZIONE DEL DEGRADO IN RAGIONE DEL MODELLO DI TUOTTI



Da 0 a 1: Prima dell'innesco



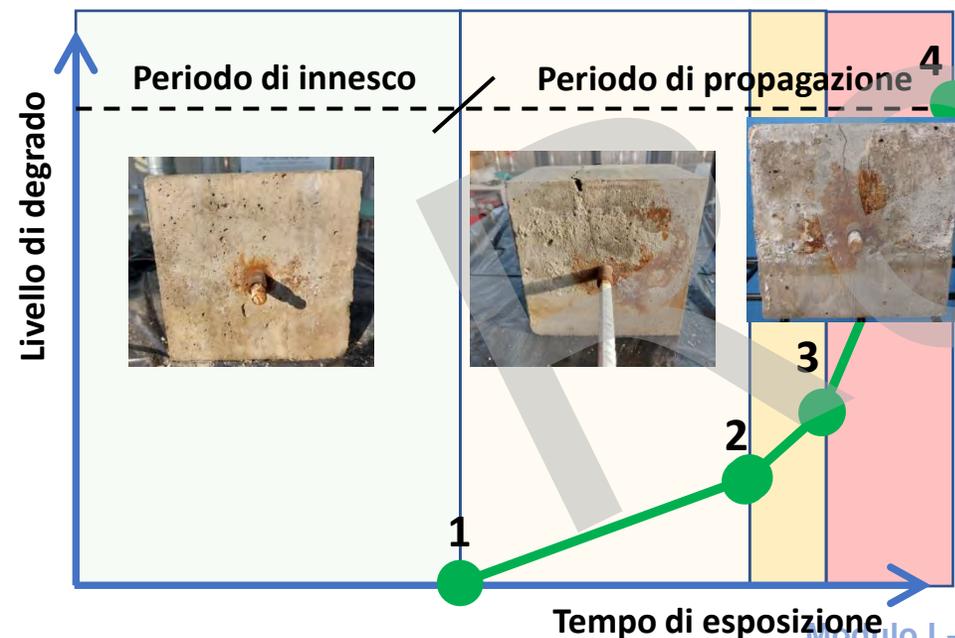
Da 1 a 2: Ossidazione delle armature e prima fase di propagazione con perdita di sezione trasversale armature accompagnati da fessure da splitting lungo lo sviluppo delle armature



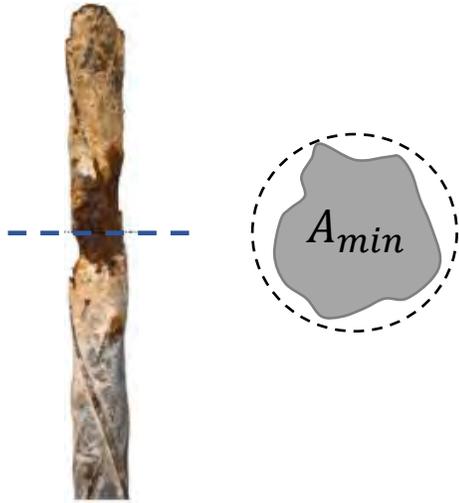
Da 2 a 3: Avanzamento fase di propagazione e di perdita di sezione trasversale armatura accompagnati da fessure di splitting lungo lo sviluppo delle armature e perdita di copriferro



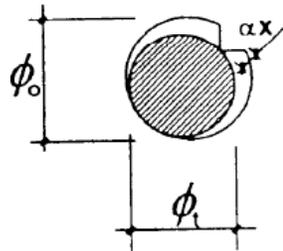
Da 3 a 4: Avanzamento fase di propagazione e forti perdite di sezione trasversale accompagnate da perdita del copriferro



CORROSIONE LOCALIZZATA INDOTTA DA CLORURI



Haefliger S., Thoma K., Kaufmann W., 2023.

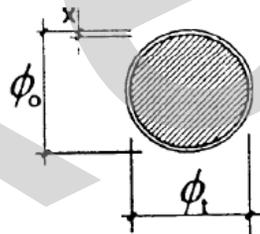


PITTING [$\alpha \leq 10$]

CORROSIONE UNIFORME INDOTTA DA CARBONATAZIONE



C. Andrade, J.J. Muñoz, A. Bernabeu, A. Gonzalez, 2023.



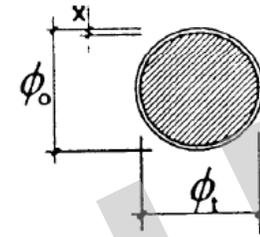
UNIFORM CORROSION

Tabella 12
Classi di esposizione in funzione delle condizioni ambientali (da CEN/TC104: draft prEN206 rev 15-1996).

Denominazione della classe	Descrizione dell'ambiente di esposizione	Esempi di condizioni ambientali (a titolo informativo)
1. Nessun rischio di corrosione delle armature o di attacco al calcestruzzo		
X0	Molto secco	Interni di edifici con umidità relativa molto bassa
2. Corrosione delle armature indotta da carbonatazione		
XC1	Secco	Interni di edifici con umidità relativa molto bassa
XC2	Bagnato, raramente secco	Parti di strutture di contenimento liquidi; fondazioni
XC3	Umidità moderata	Interni di edifici con umidità da moderata ad alta; calcestruzzo all'esterno riparato dalla pioggia
XC4	Ciclicamente secco e bagnato	Superfici soggette a contatto con acqua non comprese nella classe XC2
3. Corrosione indotta da cloruri		
XD1	Umidità moderata	Superfici esposte a spruzzi diretti d'acqua contenente cloruri
XD2	Bagnato, raramente secco	Piscine; calcestruzzo esposto ad acque industriali contenenti cloruri
XD3	Ciclicamente secco e bagnato	Parti di ponti; pavimentazioni; parcheggi per auto
4. Corrosione indotta da cloruri dell'acqua di mare		
XS1	Esposizione alla salsedine marina ma non in contatto diretto con acqua di mare	Strutture sulla costa o in prossimità
XS2	Sommerse	Parti di strutture marine
XS3	Nelle zone di mree, nelle zone soggette a spruzzi	Parti di strutture marine
5. Attacco da cicli gelo/disgelo		
XF1	Grado moderato di saturazione, in assenza di agenti disgelanti	Superfici verticali esposte alla pioggia e al gelo
XF2	Grado moderato di saturazione, in presenza di sali disgelanti	Superfici verticali di opere stradali esposte al gelo e ad agenti disgelanti nebulizzati nell'aria
XF3	Grado elevato di saturazione, in assenza di sali disgelanti	Superfici orizzontali esposte alla pioggia e al gelo
XF4	Grado elevato di saturazione, in presenza di sali disgelanti	Superfici verticali e orizzontali esposte a spruzzi d'acqua contenente sali disgelanti
6. Attacco chimico		
XA1	Aggressività debole (secondo tab. 9)	
XA2	Aggressività moderata (secondo tab. 9)	
XA3	Aggressività forte (secondo tab. 9)	

Table C3. Ranges of I_{corr} values suggested for exposure classes of EN206.

Exposure Classes		I_{CORR} [$\mu A/cm^2$]	
0	No risk of corrosion	~ 0.01	
Carbonation		1.1.1.2 Partially carbonated	Totally carbonated
C1	Dry	~ 0.01	~ 0.01
C2	Wet – rarely – Dry	0.1 – 0.5	0.2 – 0.5
C3	Moderate humidity	0.05 – 0.1	0.1 – 0.2
C4	Cyclic wet – dry	0.01 – 0.2	0.2 – 0.5
Chloride initiated corrosion			
D1	Moderate humidity	0,1 – 0,2	
D2	Wet – rarely – dry	0,1 – 0,5	
D3	Cyclic wet – dry	0,5 – 5	
S1	Airborne sea water	0,5 – 5	
S2	Submerged	0,1 – 1,0	
S3	Tidal zone	1 – 10	



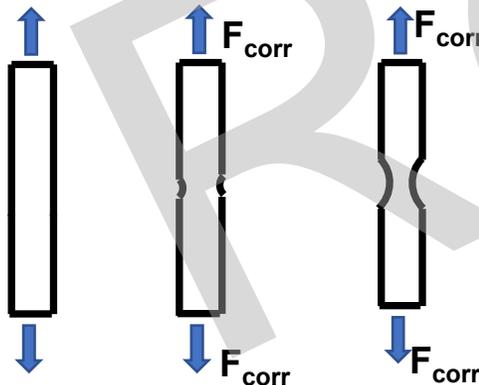
UNIFORM CORROSION

Perdita di raggio nella sezione resistente per corrosione localizzata indotta da carbonatazione

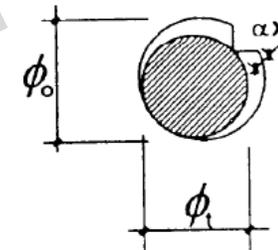
$$P_x = 0,0116 I_{corr} t_p$$

Tempo propagazione t_p

CONTECVET Manual, 2001



Esempio corrosione localizzata

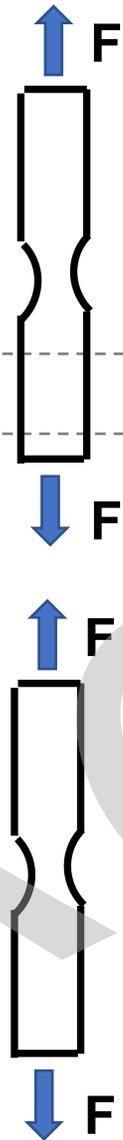
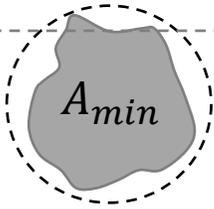


PITTING [$\alpha \leq 10$]

CONTECVET Manual, 2001

Perdita di raggio nella sezione resistente per corrosione localizzata indotta da cloruri

$$P_x = \alpha 0,0116 I_{corr} t_p$$



Perdita sezione resistente

$$\mu_{max} = \frac{A_0 - A_{min}}{A_0}$$

Localizzazione deformazione (in caso di corrosione localizzata)

Riduzione allungamento massimo (e conseguente riduzione deformazione ultima)

$$\epsilon_{u,corr} < \epsilon_u$$

Lunghezza base L_0 per misura allungamento

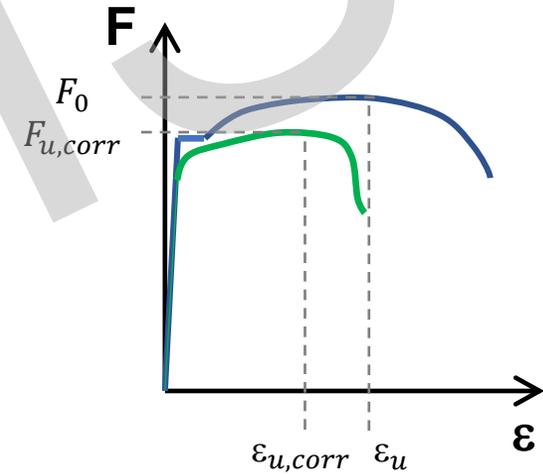
P_y = lunghezza difetto

Localizzazione dell'allungamento

$\Delta L, \epsilon$

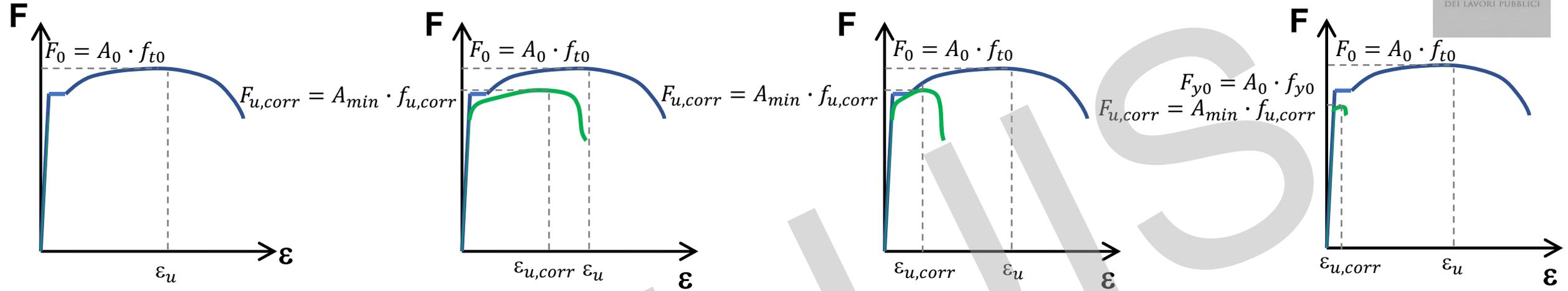
$$F_0 = A_0 \cdot f_{t0}$$

$$F_{u,corr} = A_{min} \cdot f_{u,corr}$$

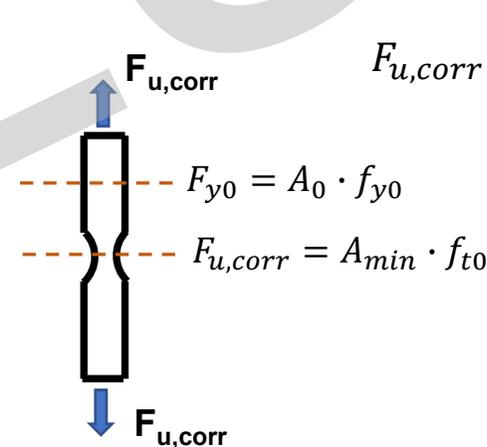
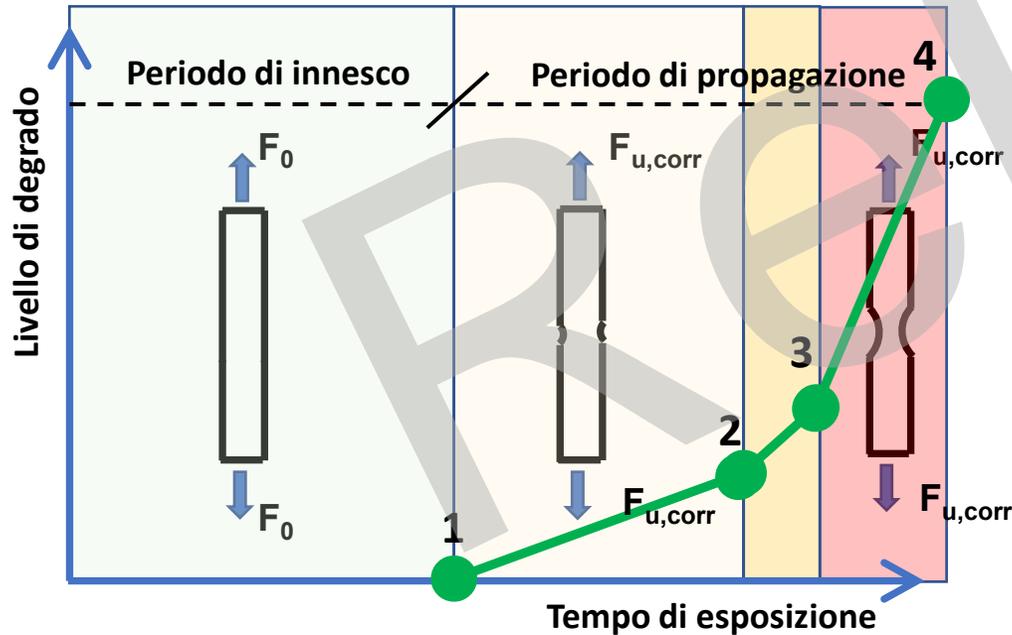


Haefliger S., Thoma K., Kaufmann W., 2023.

L'EFFETTO DELLA CORROSIONE LOCALIZZATA NELLE BARRE



Definizione sezione critica



$$F_{u,corr} = F_{y0} \rightarrow A_{min} \cdot f_{t0} = A_0 \cdot f_{y0} \rightarrow \frac{A_{min}}{A_0} = \frac{f_{y0}}{f_{t0}}$$

$$\mu_{crit} = \frac{A_0 - A_{min}}{A_0} = 1 - \frac{f_{y0}}{f_{t0}}$$

$$\mu \geq \mu_{crit}$$

Rottura delle armature in campo elastico

Degrado connessione pendini



Corrosione delle armature



Lesioni connessione traverso/catena



Degrado dei pendini



Lesione schiacciamento spalla



Danni da urto



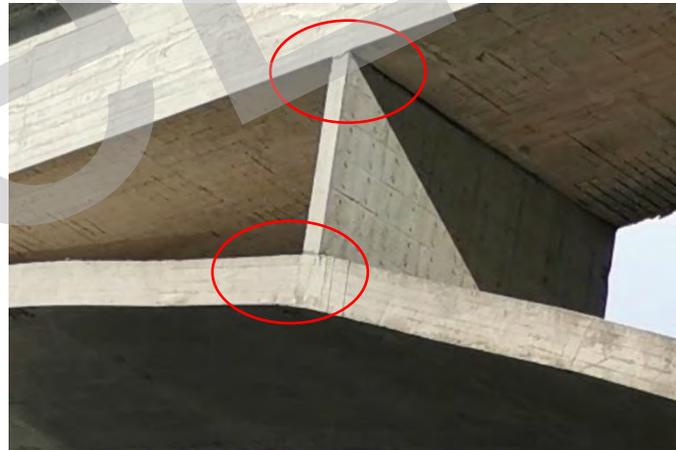
Degrado dell'arco



Fessurazione connessione elementi verticali



Problemi alla fondazione



Ponti a travata – degrado e patologie

Distacco del copriferro



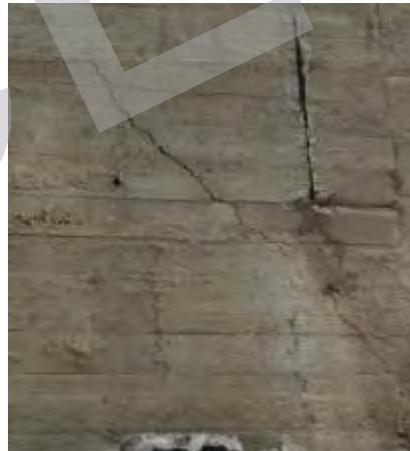
Armatura ossidata/corrosiva



Fessure longitudinali



Fessure diagonali



Fessure trasversali



Armatura longitudinale deformata



Staffe scoperte/ossidate



Cls dilavato/ammalorato testate



Lesioni in corrispondenza delle staffe



Rottura staffe



Lesioni distacco travi/traversi



Distacco del copriferro



Cls dilavato/ammalorato



**Fessure diagonali in
corrispondenza delle selle**



Ristagni d'acqua



Degrado apparecchi di appoggio



Macchie di umidità passiva



Calcestruzzo dilavato



Armatura ossidata/corrosiva



Macchie di umidità attiva



Lesione attacco trave-soletta



Fessure trasversali



Appoggi invecchiati e/o
eccessivamente deformati



Altri elementi con difetti



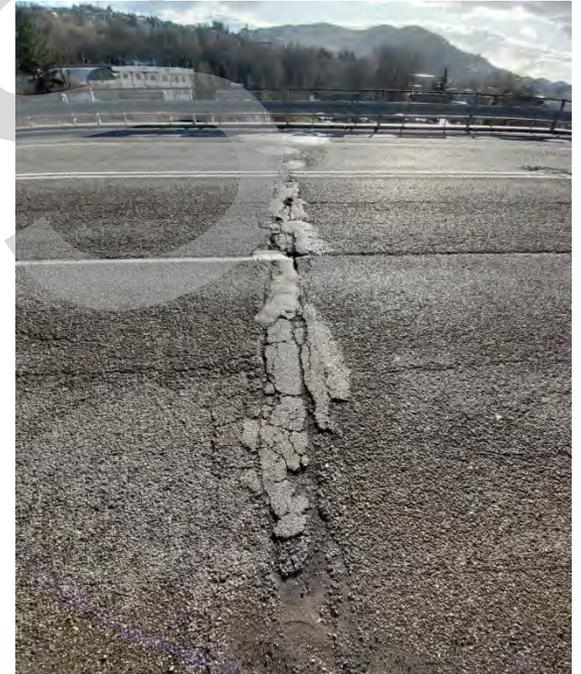
Giunto di dilatazione visto dal basso
Effetto del sistema di smaltimento acque del
giunto di dilatazione degradato



Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

Lezione 1 - Le linee guida per i ponti esistenti

Danni alla pavimentazione in
corrispondenza del giunto



Pavimentazione e barriera degradate



Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

Le linee guida per i ponti esistenti - Tipologie strutturali e analisi delle principali criticità

L1a - Introduzione alle linee guida

L1b - Ponti in cemento armato

L1c - Ponti in cemento armato precompresso

L1d - Ponti in muratura

L2a - Ponti in acciaio e composti acciaio-calcestruzzo

L2b - Pile e spalle

L2c - Selle Gerber

L2d - Dispositivi di appoggio

L2e - Introduzione alle schede difettologiche

La valutazione della classe di attenzione strutturale-fondazionale - scenari di casi studio. Ispezioni speciali e indagini in situ

L3a - Ponti in cemento armato

L3b - Ponti in cemento armato precompresso

L3c - Ponti ad arco in muratura

L4a - Ponti in acciaio e ponti composti acciaio-calcestruzzo

L4b - Ispezioni speciali e indagini in situ

Il monitoraggio nella sicurezza delle infrastrutture e la digitalizzazione

L5a - Applicazione di sistemi di monitoraggio

L5b - Gestione delle informazioni e modelli informativi digitali

Esercitazione

L6 - Esempi di compilazione in ambiente virtuale di schede di ispezione

Inquadrare gli aspetti dei materiali, della tecnologia, degli schemi statici che supportino il riconoscimento in sito degli eventuali difetti o danni e la loro importanza sulla sicurezza strutturale in modo da guidare l'applicazione delle linee guida soprattutto nel livello 1 di compilazione delle schede difettologiche

Contenuti:

3 macro argomenti per il c.a.p. considerando che alcuni aspetti sono già introdotti nel c.a.

- 1) Informazioni sulla datazione della tecnologia, sulle procedure di realizzazione e sui materiali poiché questi aspetti si collegano ai tipi di difetti che probabilmente si sviluppano in questa tipologia strutturale
- 2) Inquadramento delle tipologie di ponti tipiche di diversi periodi di costruzione evidenziando aspetti che ne consentono il riconoscimento in sito e ne definiscono alcuni dettagli che si correlano ai tipi di difetti
- 3) Illustrazione dei “difetti” mettendo a fuoco la differenza tra danni indotti da sollecitazioni eccessive o azioni eccezionali e difetti dovuti a fenomeni di degrado cercando di dare alcune informazioni sul collegamento tra il difetto rilevato e la causa

La tecnologia della precompressione viene messa a punto in Francia sulla base del primo brevetto del 1928 di Eugène Freyssinet. Lo sviluppo delle prime opere si ebbe in Francia e Germania negli anni 40' del secolo scorso mentre in Italia si è diffuso negli anni '50.

La tecnologia consentiva di avere lunghezze delle travi molto maggiori di quelle in cemento armato pertanto si diffuse rapidamente e con lo sviluppo dei sistemi prefabbricati diventò la tecnologia più utilizzata in Italia per i ponti stradali tra il 1950 e il 1980.

Alla fine degli anni '70 si affiancarono anche i ponti composti in acciaio e calcestruzzo, ma il precompresso ha continuato ad essere la tecnologia più utilizzata per molti anni.

Pertanto la maggior parte dei ponti esistenti che hanno più di 30 anni sono stati realizzati in c.a.p. escludendo i ponti in muratura ad arco e quelli in c.a. ad arco, a telaio o a solettoni ma con luci degli impalcati minori di circa 15m.

Per individuare i possibili difetti, i fenomeni di degrado e i danni dovuti ai carichi da traffico è necessario esaminare le tecnologie di realizzazione del c.a.p. caratterizzate da sistemi, componenti e materiali diversi.

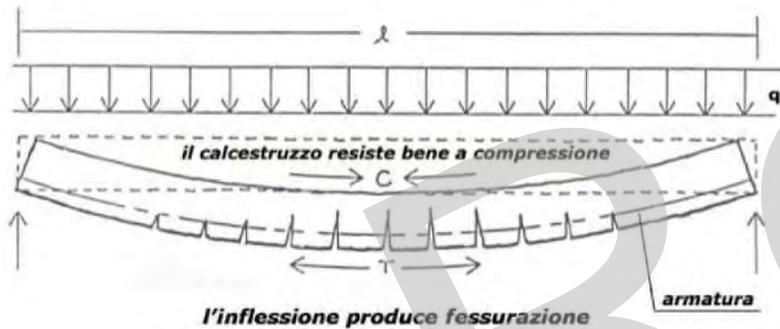
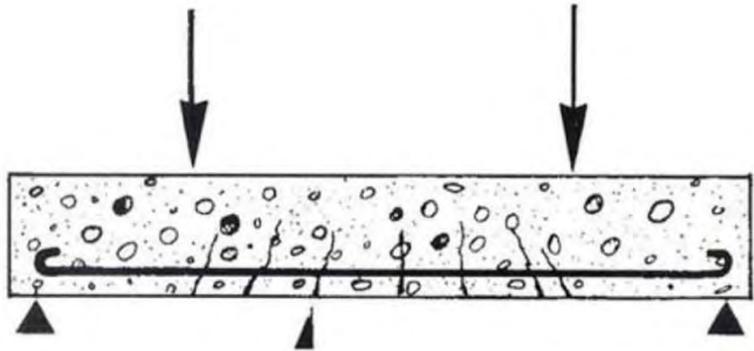
E' importante anche definire alcuni aspetti caratteristici che consentono il riconoscimento della specifica tecnologia dalle ispezioni visive.

1. Inquadramento delle tecniche di precompressione

Tecnologia utilizzata determina la risposta strutturale dell'elemento, i meccanismi che la governano, i difetti più comuni e le più frequenti cause di deterioramento

RELUIS

Trave in calcestruzzo armato (c.a.)



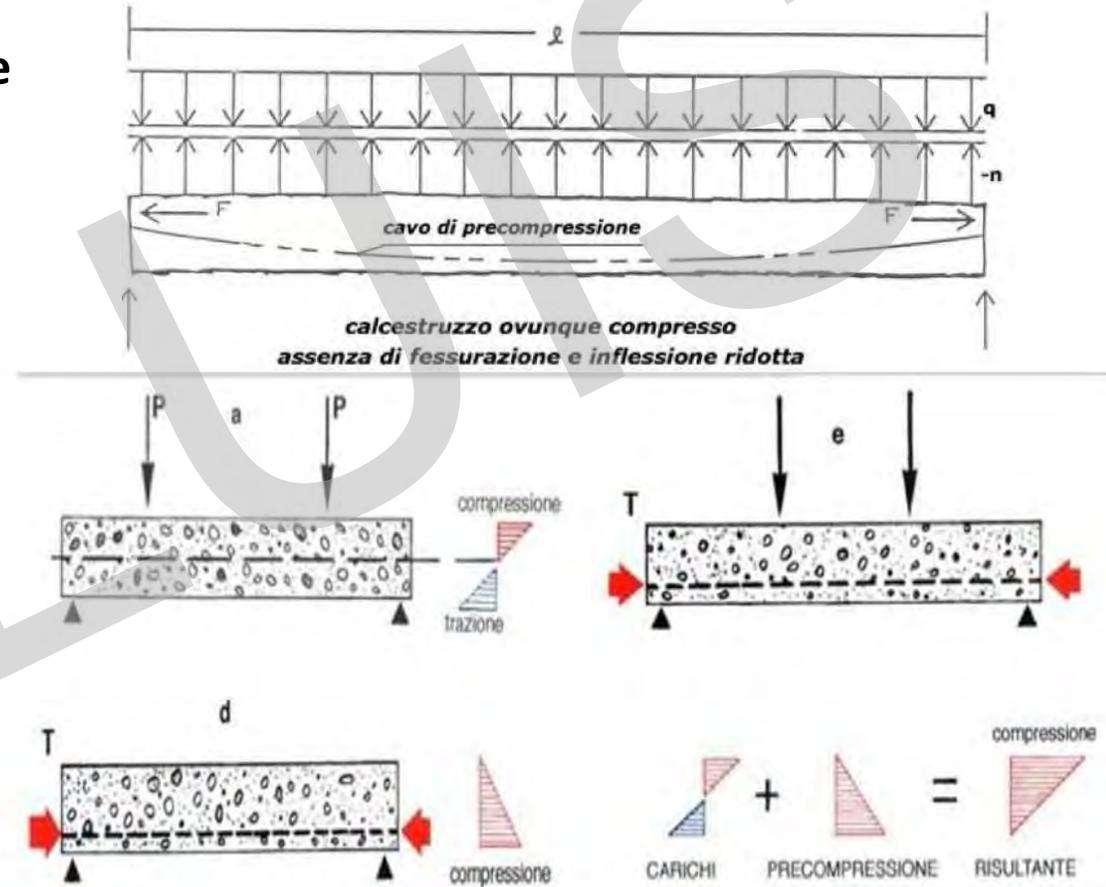
Modesta resistenza a trazione

Fessure in zona tesa

Notevole incidenza del peso proprio rispetto alla resistenza

La flessione

Trave in calcestruzzo armato precompresso (c.a.p.)



La compressione applicata mediante il cavo in acciaio consente di ridurre/azzerare la trazione dovuta al momento flettente e di avere la trave completamente reagente (non fessurata in esercizio)

Il contributo della precompressione è importante anche nella resistenza a taglio

1) Calcestruzzo compresso

(~ 20÷40% della resistenza a taglio)

Il meccanismo risulta tanto più efficace con:

- elevato \bar{x}
- flange (travi a doppio T...)
- calcestruzzi ad alta resistenza

Può essere più significativo nel cap

2) Ingranamento degli inerti

(~ 50-60% della resistenza a taglio)

Questo meccanismo non è efficace se:

- l'apertura della fessura è troppo elevata;
- si verifica trazione sulla sezione;
- si utilizza un calcestruzzo ad alta resistenza, poiché le fessure attraversano gli inerti, meno resistenti, determinando una fessura poco rugosa (fessura intragranulare)
- la dimensione massima dell'aggregato è molto bassa.

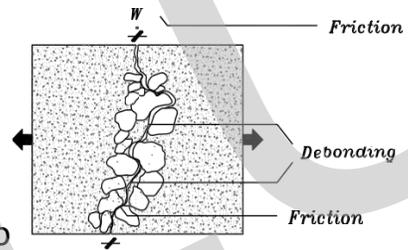
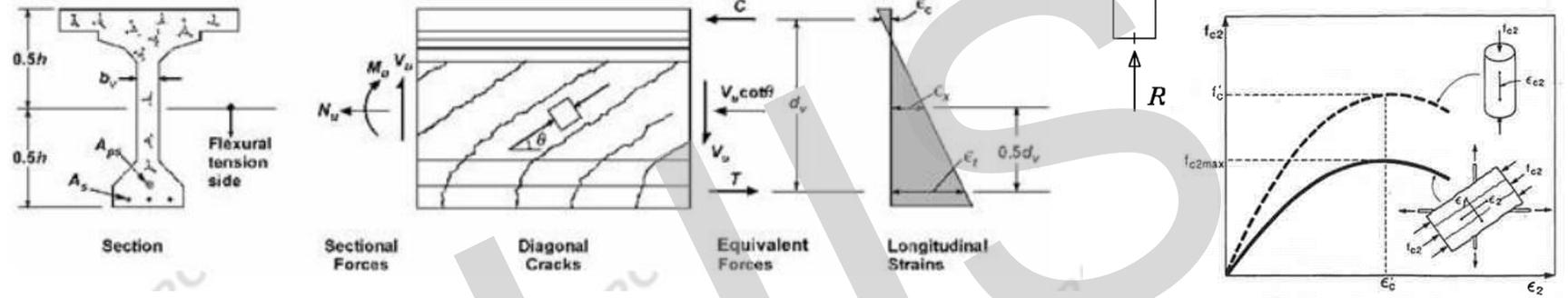
Meccanismo meno significativo nei microcalcestruzzi ad alta resistenza

3) Effetto spinotto

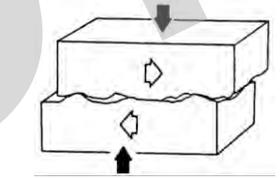
(~25% della resistenza a taglio)

Questo effetto è tanto maggiore con:

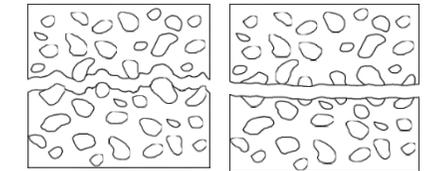
- alto copriferro;
- staffe che contengono le spinte (ma in questo caso prevale il contributo dell'armatura trasversale)



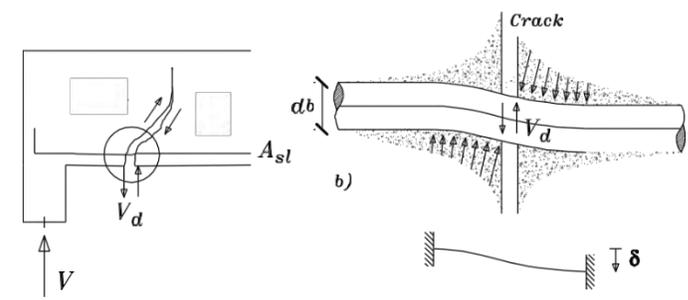
Resistenza per effetto dell'ingranamento degli inerti



Ingranamento degli inerti in presenza di azione di compressione



Fessura intergranulare (NSC) e intragranulare (HSC)



M.P. Collins, D. Mitchell, "Prestressed concrete structures", Response Publications, Canada, 1997

F. Minelli, E. Giuriani, "Teoria e Progetto delle Costruzioni in c.a. e c.a.p. - Teoria e Progetto di Strutture", 2018

NTC 2018 § 4.1.2.3.5

Senza Armatura Trasversale

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[\frac{0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c} + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d \right. \\ \left. (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right.$$

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

$$\rho_l = A_{sl} / (b_w \cdot d)$$

Elementi in semplice appoggio nelle zone non fessurate da momento flettente (soprattutto elementi cap a fili pretesi)

$$V_{Rd} = 0,7 \cdot b_w \cdot d \cdot (f_{ctd}^2 + \sigma_{cp} \cdot f_{ctd})^{1/2}$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = \text{Tensione media di compressione della sezione}$$

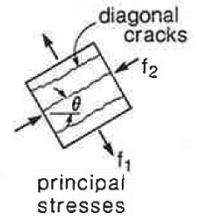
Con Armatura Trasversale

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd,s}; V_{Rd,max})$$

$$45^\circ \leq \theta \leq 21,8^\circ$$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot \frac{b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(\cot \theta + \tan \theta)}$$



α_{cw}	Quando
1.0	No CAP
$\left(1 + \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}}\right)$	$0 \leq \sigma_{cp} \leq 0,25 \cdot f_{cd}$
1.25	$0,25 \cdot f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 \cdot f_{cd}$
$2,25 \cdot \left(1 + \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}}\right)$	$0,5 \cdot f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 1,0 \cdot f_{cd}$

$$v_1 = 0,6$$

$$f_{ck} \leq 60 \text{ MPa}$$

$$v_1 = 0,9 - \frac{f_{ck}}{200} > 0,5 \quad f_{ck} \geq 60 \text{ MPa}$$

Sistemi di precompressione

POST-TENSIONE (a pie' d'opera o in stabilimento):

La tesatura delle armature da precompressione viene effettuata dopo il getto e la maturazione del calcestruzzo e i cavi sono ancorati alle estremità con appositi sistemi brevettati.

E' la prima tecnologia applicata pertanto si trovano opere già dagli anni '50 completamente gettate in opera, prefabbricate a conci a più d'opera o in stabilimento, travi completamente prefabbricate

PRE-TENSIONE (in stabilimento di prefabbricazione):

La tesatura delle armature da precompressione viene effettuata prima del getto e della maturazione del calcestruzzo. I cavi sono ancorati per aderenza.

La tecnologia è stata in un secondo momento perché richiede la realizzazione in uno stabilimento di prefabbricati, pertanto si trovano opere dagli anni '70 in poi.

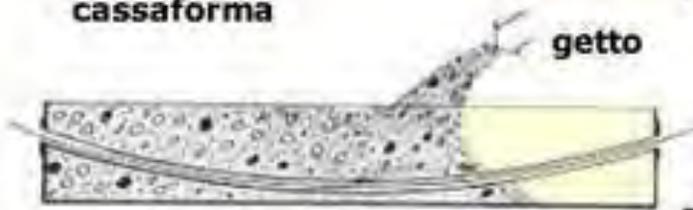
Precompressione con post-tensione



Posa in opera della guaina



FASE 1



FASE 2



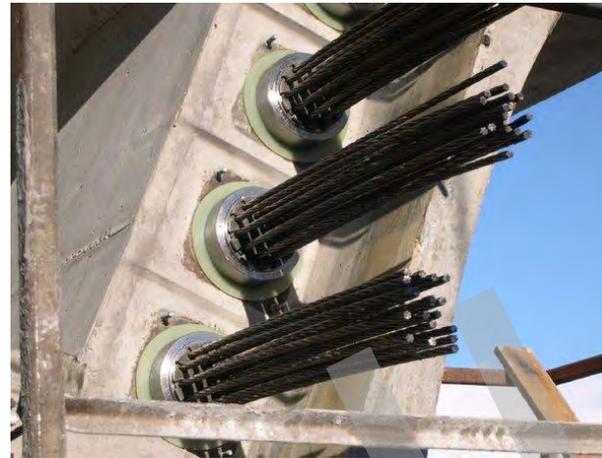
tesatura e ancoraggio

FASE 3

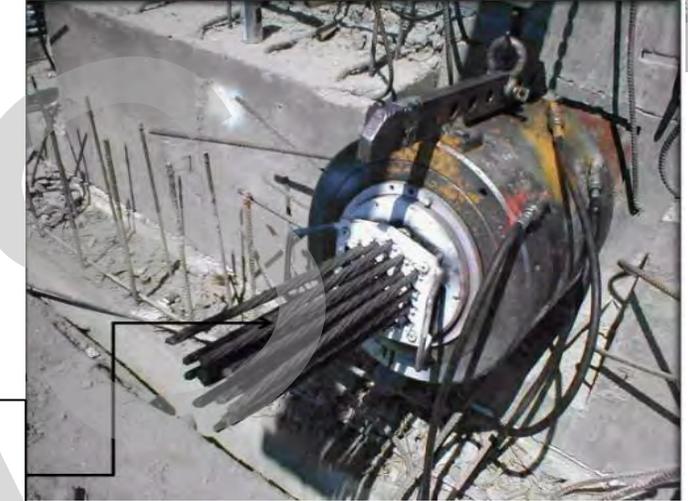


iniezione per riempimento delle guaine

FASE 4



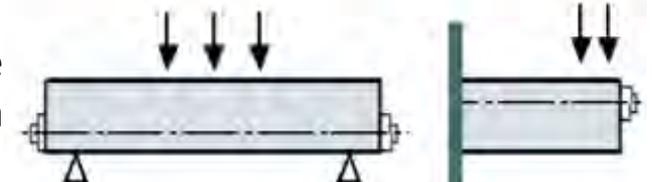
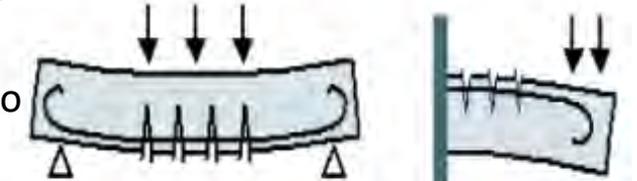
Ancoraggi cavi



Tesatura cavi con martinetto

Elemento inflesso in c.a. fessurato

La precompressione applica una flessione opposta a quella dei carichi: la trave si inflette con una controfreccia



trave appoggiata

mensola

La precompressione si riduce a causa di cadute di tensione:
- istantanee per l'attrito cavo-guaina e rientro delle piastre
- nel tempo per ritiro e viscosità del calcestruzzo, rilassamento acciaio

Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

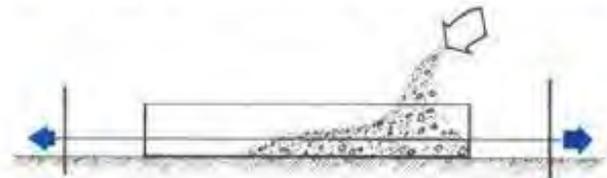
Lezione 1 - Le linee guida per i ponti esistenti

Precompressione con pre-tensione

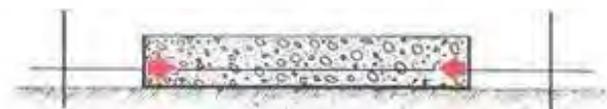
Linea di produzione industriale



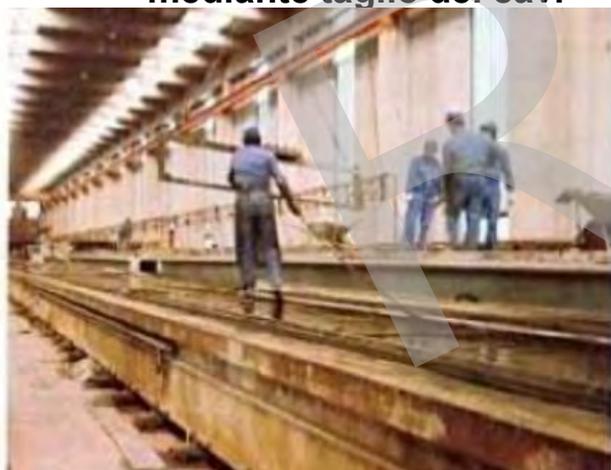
FASE 1: messa in tensione dei fili



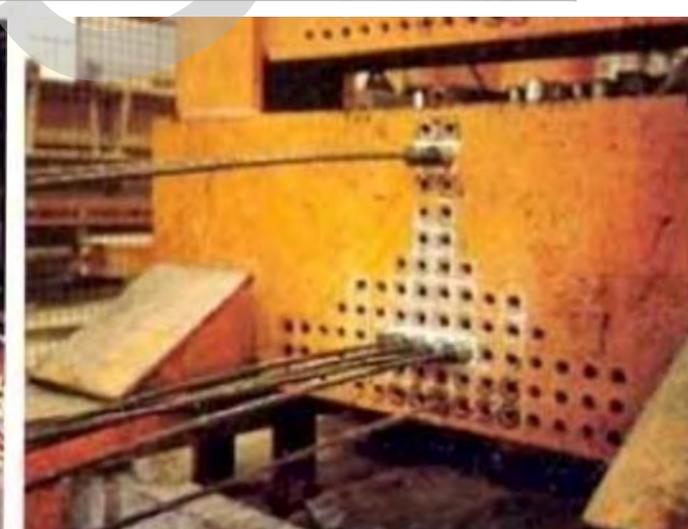
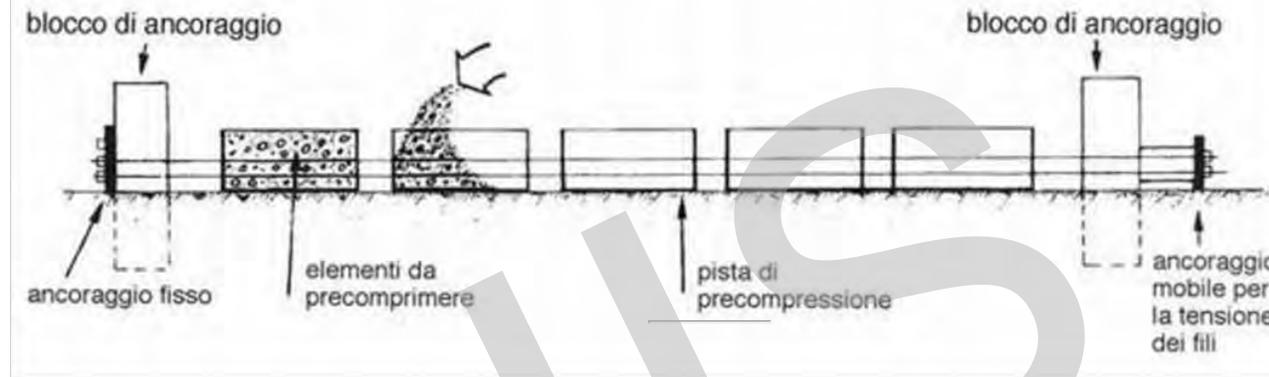
FASE 2: getto dell'impasto



**FASE 3: eliminazione della tensione
mediante taglio dei cavi**



Posa in opera dell'armatura



Blocco di ancoraggio dei cavi

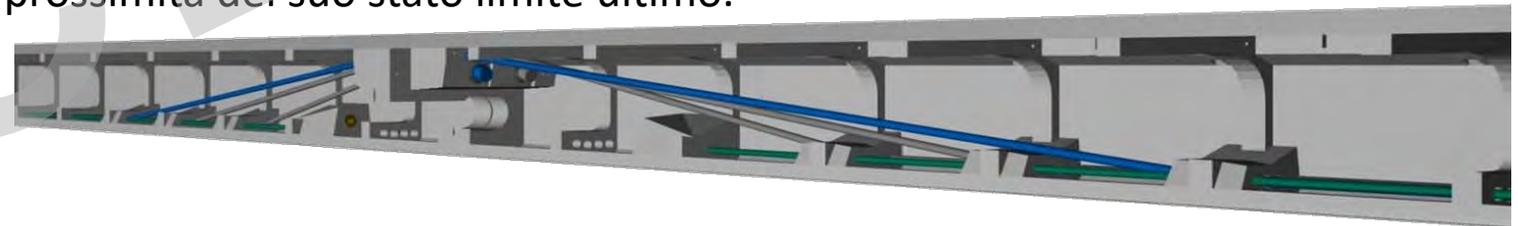
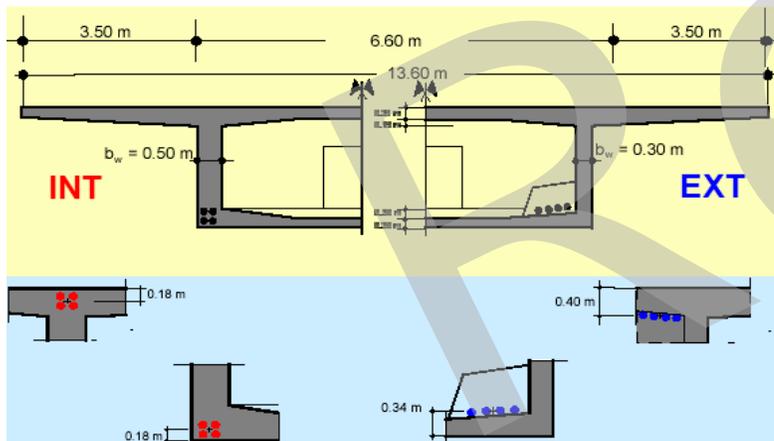
La precompressione si riduce a causa di cadute di tensione:
- istantanee per deformazione elastica
- nel tempo per ritiro e viscosità del calcestruzzo, rilassamento acciaio

Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

Lezione 1 - Le linee guida per i ponti esistenti

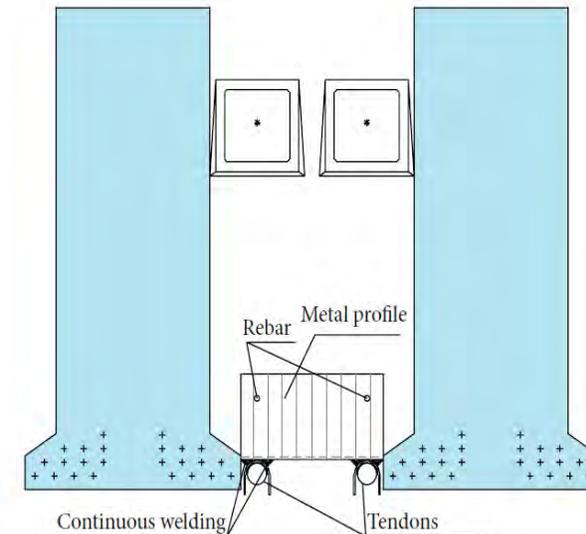
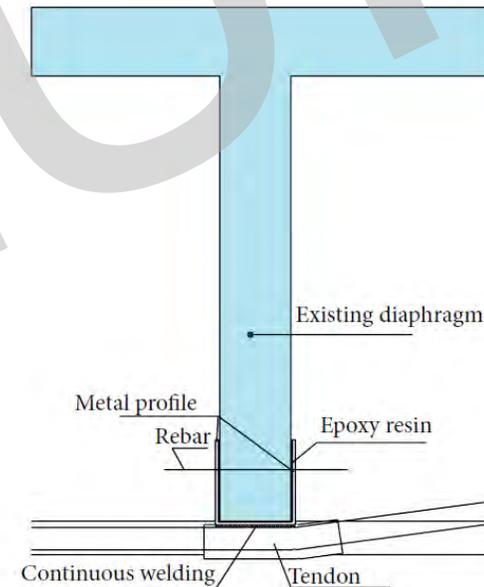
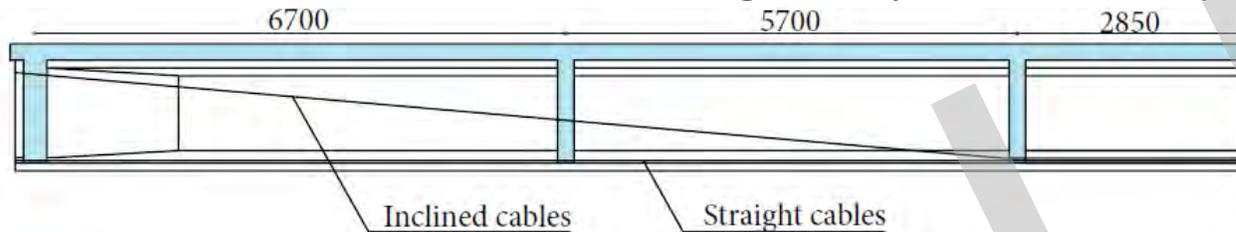
Precompressione esterna per nuovi ponti

Nella storia della moderna ingegneria, le prime applicazioni della precompressione esterna risalgono alla metà degli anni '30. Nel 1936, l'ingegnere tedesco F. Dischinger applicò questa tecnologia per la costruzione del ponte che attraversa il bacino di valle e la linea ferroviaria ad Aue, in Sassonia. L'applicazione della precompressione con l'utilizzo di cablaggio esterno presenta indubbiamente notevoli vantaggi. Forse, il più importante di essi è che, con questa tecnica, si estende alle strutture civili la stessa logica costruttiva propria delle costruzioni meccaniche, in cui le parti più delicate o più soggette ad usura, sono progettate sin dall'inizio in modo da poter essere facilmente sostituite o riparate. D'altra parte, come spesso accade nei settori costruttivi nei quali l'evoluzione tecnologica può precedere quella tecnica, si fatica a giungere ad una completa razionalizzazione degli aspetti concettuali atti a definire il comportamento in prossimità del suo stato limite ultimo.



Attenzione al comportamento allo SLU di una precompressione non congruente con le sezioni di calcestruzzo tranne che nei punti di ancoraggio e deviazione

Molti ponti esistenti presentano un comportamento nello Stato limite di servizio e nello Stato limite ultimo che può essere considerato insoddisfacente rispetto alle attuali disposizioni normative, ma che in realtà sono carenze derivanti da metodi di calcolo obsoleti, età della struttura, degrado, corrosione diffusa o localizzata e incremento di carichi. In questi casi, semplici interventi di rinforzo tramite precompressione esterna che riducono le sollecitazioni di trazione in aree di calcestruzzo soggette a fessurazione, nonché la deformabilità dei ponti che hanno accumulato deformazioni nel tempo (ad es. per creep), spesso possono essere attuati con minimo impatto, ottenendo un miglioramento del comportamento strutturale o una variazione dello schema statico che migliori le prestazioni compressive.

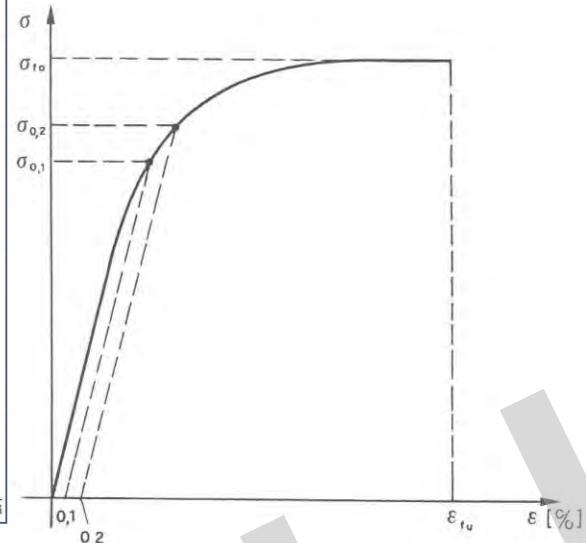
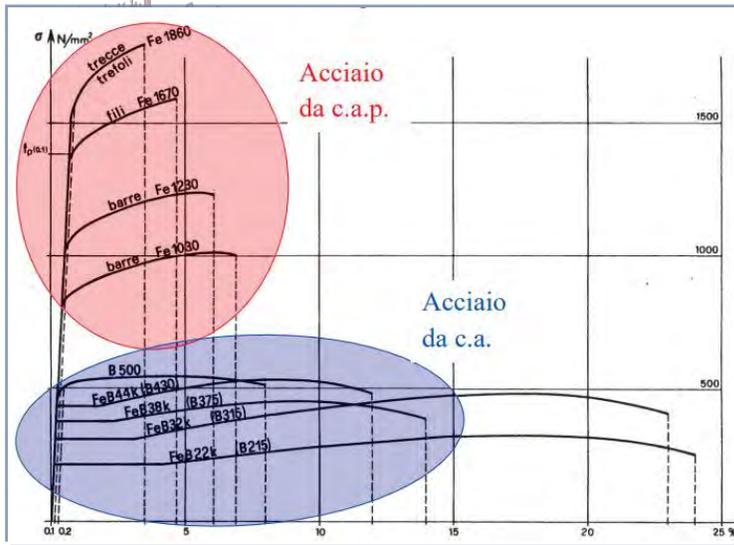


Attenzione alla qualità del calcestruzzo esistente per l'efficacia della precompressione esterna

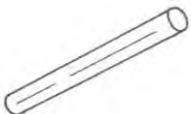
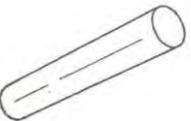
Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

Lezione 1 - Le linee guida per i ponti esistenti

Acciaio da precompressione



Alla fine degli anni '60 e poi con le norme del 1974 si introducono tipologie standard

N°	Tipo di prodotto	Definizione	Rappresentazioni grafiche	
1	filo	materiale semplice a sezione piena che è, o può essere, fornito avvolto in matasse;		
2	treccia	insieme di due o tre fili, avvolti ad elica attorno al loro asse longitudinale comune; passo e senso di avvolgimento dell'elica sono eguali per tutti i fili della treccia;		
3	trefolo	insieme di fili avvolti ad elica in una o più corone, attorno ad un filo rettilineo mantenuto nell'asse longitudinale comune dell'insieme e completamente ricoperto dalle corone. Il passo e il senso di avvolgimento dell'elica sono eguali per tutti i fili di una stessa corona;		
4	barra	materiale semplice di sezione piena che può venir consegnato solamente in forma di elementi rettilinei.		

Anni '50-'60
Ogni cavo è costituito da molti fili di diametro 5-7mm
Tipicamente 24-27 fili

DM 30/05/1972

ACCIAI

2.1. GENERALITÀ.

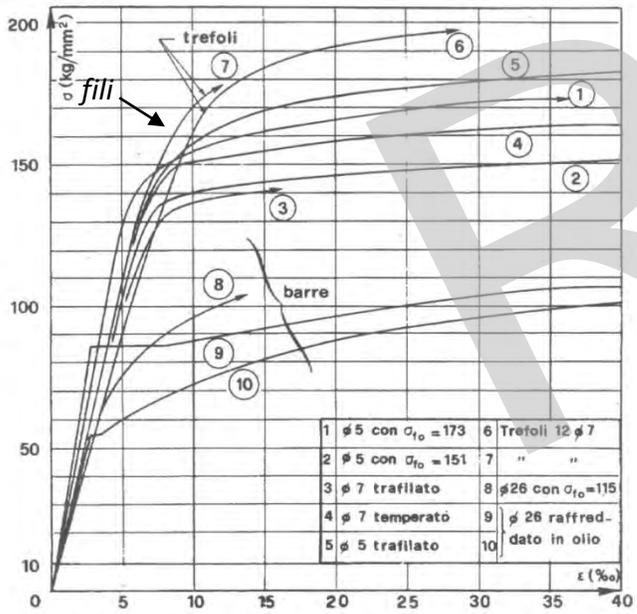
Le prescrizioni seguenti si riferiscono agli acciai per armature da precompressione forniti sotto forma di:

Fili: elementi di sezione piena che possano fornirsi avvolti in matasse;

Barre: elementi di sezione piena che possano fornirsi soltanto in forma di elementi rettilinei.

Trecce: gruppi di 2 o 3 fili avvolti ad elica intorno al loro comune asse longitudinale; passo e senso di avvolgimento dell'elica sono eguali per tutti i fili della treccia;

Trefoli: gruppi di fili avvolti ad elica in uno o più strati intorno ad un filo rettilineo disposto secondo l'asse longitudinale dell'insieme e completamente ricoperto dagli strati. Il passo e il senso di avvolgimento dell'elica sono eguali per tutti i fili di uno stesso strato.





Acciaio da precompressione

Requisiti per acciai da precompressione secondo NTC 2018:

Tipo di acciaio	Barre	Fili	Trefoli e trecce	Trefoli compattati
Tensione caratteristica di rottura f_{ptk} [N/mm ²]	≥ 1000	≥ 1570	≥ 1860	≥ 1820
Tensione caratteristica allo 0,1% di deformazione residua $f_{p(0,1)k}$ [N/mm ²]	-	≥ 1420	-	-
Tensione caratteristica all'1% di deformazione totale $f_{p(1)k}$ [N/mm ²]	-	-	≥ 1670	≥ 1620
Tensione caratteristica di snervamento f_{pyk} [N/mm ²]	≥ 800	-	-	-
Allungamento sotto carico massimo A_{gt} [%]	≥ 3,5	≥ 3,5	≥ 3,5	≥ 3,5

Di seguito si riportano le caratteristiche meccaniche dell'acciaio da precompressione (Fili, Trecce e Trefoli) in accordo con le "Norme Tecniche per l'impiego delle strutture in cemento armato precompresso" emanate con legge n°1086 del 5-11-71-Decreto Ministeriale 16-6-76 pubblicato sul supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n°214 del 14-8-76. I valori indicati nelle tabelle seguenti possono essere assunti come riferimento anche per opere la cui costruzione è antecedente alla legge n°1086 del 5-11-71, in quanto per l'acciaio da precompressione, le caratteristiche di resistenza sono rimaste sostanzialmente invariate.

fili

Diametro del filo	Sezione	Tensione garantita di rottura	Allungamento		Tensione garantita allo 0,2%	Piegamenti alterni		Modulo elastico apparente ± 7%	Massa	Stato del filo
			Tratto utile	min.		∅ rulli	Piegamenti			
∅ mm	A mm ²	Ra G kgf/mm ² N/mm ²	mm	%	Ra G (0.2) kgf/mm ² N/mm ²	(4xd) mm	min. n	Ea kgf/mm ² N/mm ²	kg/m	
3	7.07	190 1865	50	4.2	165 1620	12	4	20500 201100	0.0554	Non autoraddr.
3.5	9.62	180 1765	50	4.4	155 1520	14	4	20500 201100	0.0755	Non autoraddr.
4	12.57	180 1765	50	4.6	155 1520	16	4	20500 201100	0.0986	Autoraddriz. e non autoraddriz.
5	19.63	180 1765	10 ∅	5	155 1520	20	4	20500 201100	0.154	Autoraddriz.
*6	28.27	165 1620	10 ∅	5	145 1420	24	4	20500 201100	0.222	Autoraddriz.
*7	38.48	165 1620	10 ∅	5	145 1420	28	4	20500 201100	0.302	Autoraddriz.
*8	50.26	165 1620	10 ∅	5	145 1420	32	4	20500 201100	0.395	Autoraddriz.

*) Filo qualificato secondo la legge 1086 del 5-11-71 - Decreto Ministeriale 16-6-76 pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n° 214 del 14-8-1976.

trecce

TRECCIA A 2 FILI

Formazione	Diametro del filo	Diametro treccia	Sezione nominale treccia	Tensione garantita di rottura	Carico di rottura	Tensione garantita allo 0.2%	Carico garantito allo 0.2%	Allungamento su 200 mm	Modulo elastico apparente ± 7%	Massa approssimata
2 x d	∅ mm	∅ mm	A mm ²	Ra G kgf/mm ² N/mm ²	Fm kgf N	Ra G (0.2) kgf/mm ² N/mm ²	Fp 0.2 kgf N	l %	Ea kgf/mm ² N/mm ²	kg/m
*2x2.25	2.25	4.50	7.95	180 1765	1430 14030	160 1570	1270 12460	3.5	20100 197200	0.064
*2x2.40	2.40	4.80	9.05	180 1765	1630 15990	160 1570	1450 14220	3.5	20100 197200	0.072

*) Treccia qualificata secondo la legge 1086 del 5-11-71 - Decreto Ministeriale 16-6-76 pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n° 214 del 14-8-1976.

TRECCIA A 3 FILI

Formazione	Diametro del filo	Diametro treccia	Sezione nominale treccia	Tensione garantita di rottura	Carico di rottura	Tensione garantita allo 0.2%	Carico garantito allo 0.2%	Allungamento su 200 mm	Modulo elastico apparente ± 7%	Massa approssimata
3 x d	∅ mm	∅ mm	A mm ²	Ra G kgf/mm ² N/mm ²	Fm kgf N	Ra G (0.2) kgf/mm ² N/mm ²	Fp 0.2 kgf N	l %	Ea kgf/mm ² N/mm ²	kg/m
*3x2.25	2.25	4.90	11.93	180 1765	2150 21090	160 1570	1900 18640	3.5	20100 197200	0.095
*3x2.40	2.40	5.20	13.57	180 1765	2440 23940	160 1570	2170 21290	3.5	20100 197200	0.109
*3x3.00	3.00	6.50	21.20	180 1765	3810 37380	160 1570	3390 33260	3.5	20100 197200	0.169

*) Treccia qualificata secondo la legge 1086 del 5-11-71 - Decreto Ministeriale 16-6-76 pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n° 214 del 14-8-1976.

trefoli

Diametro nominale	Sezione nominale del trefolo	Tensione garantita di rottura	Carico di rottura approssimato	Tensione garantita all'1%	Carico approssimato	Allungamento su 600 mm	Modulo elastico apparente ± 7%	Massa approssimata
∅ mm	A mm ²	Ra G kgf/mm ² N/mm ²	Fm kgf N	Ra G (1) kgf/mm ² N/mm ²	Fp1 kgf N	l %	Ea kgf/mm ² N/mm ²	kg/m
6.30	24	180 1765	4300 42180	160 1570	3800 37280	3.5	20500 201100	0.188
7.90	38	180 1765	6800 66710	160 1570	6100 59840	3.5	20500 201100	0.298
*9.30	52	180 1765	9400 92210	160 1570	8300 81420	3.5	20500 201100	0.408
*9.30	52	190 1865	9900 97120	170 1670	8900 87310	3.5	20500 201100	0.408
10.90	71	180 1765	12800 125570	160 1570	11400 111830	3.5	20500 201100	0.557
*12.40	93	180 1765	16800 164810	160 1570	14900 146170	3.5	20500 201100	0.730
*12.40	93	190 1865	17700 173640	170 1670	15800 154000	3.5	20500 201100	0.730
*15.20	139	180 1765	25000 245250	160 1570	22300 218760	3.5	20500 201100	1.090
17.80	190	170 1670	32300 316860	150 1470	28500 279590	3.5	20500 201100	1.500

*) Trefolo qualificato secondo la legge 1086 del 5-11-71 - Decreto Ministeriale 16-6-76 pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n° 214 del 14-8-76.

Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

Lezione 1 - Le linee guida per i ponti esistenti



Regio Decreto del 1939

R. DECRETO-LEGGE 16 novembre 1939-xviii, n. 2229 (Suppl. Ord. alla Gazzetta Ufficiale, n. 92 del 18 aprile 1940).

Norme per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato.

VITTORIO EMANUELE III

PER GRAZIA DI DIO E VOLONTÀ DELLA NAZIONE

RE D'ITALIA E D'ALBANIA

IMPERATORE D'ETIOPIA

- Metodo di verifica alle tensioni ammissibili
- Assenza di classi prestazionali ma indicazioni sul dosaggio

Art. 9.

La dosatura di cemento per getti armati dev essere non inferiore a 300 kg. per m³. di miscuglio secco di materia inerte (sabbia e ghiaia o pietrisco); per il cemento alluminoso la dosatura minima può essere di 250 kg. per m³.

- L'acciaio è identificato con le classi (barre lisce): dolce, semiduro e duro;

Normativa	R.D.L n°2229/1939		
Tipologia	liscio		
Denominazione	Dolce	Semi duro	Duro
Snervamento (kgf/mm ²)	≥ 23	≥ 27	≥ 31
Rottura (kgf/mm ²)	42-50	50-60	60-70
Allungamento (%)	≥ 20	≥ 16	≥ 14

« Per gli acciai in tondo, la tensione non deve superare il 50% del carico di snervamento e, in ogni caso, i valori indicati nella tabella III.

Tabella III

Aq. 42	1400 Kg/cm ²
Aq. 50	1600 Kg/cm ² (1)
Aq. 60	1800 Kg/cm ² (1)

« Per gli acciai di forma speciale ad aderenza migliorata (ritorti, sagomati, ecc.) la tensione ammissibile non deve superare il 50% del carico di snervamento né il 40% del carico di rottura con la condizione che l'allungamento di rottura non sia inferiore al 12%.

- L'acciaio ad aderenza migliorata viene introdotto con una Circolare del 1957, insieme alle classi Aq.42, Aq.50 e Aq.60 che hanno le stesse proprietà delle 3 classi precedenti

Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

Lezione 1 - Le linee guida per i ponti esistenti

Evoluzione normativa

Tipo di sollecitazione	R.D.L. 16 novembre 1939 n° 2229				
	Coeff. di sicurezza	min [kg/cmq]	max [kg/cmq]	σ _c [kg/cmq]	σ _{c,max} [kg/cmq]
A) <i>Compressione semplice</i> Sollecitazioni normali di calcolo:					
a) cls con cemento "500"	-	120	-	35	-
b) cls con cemento "680"	-	160	-	45	-
Sollecitazioni dopo determinazione preventiva:					
a)	3	120	-	σ _{r,28/3}	60
b)	-	-	-	-	-
B) <i>Flessione e pressoflessione</i> Sollecitazioni normali di calcolo:					
a) cls con cemento "500"	-	120	-	40	-
b) cls con cemento "680"	-	160	-	50	-
Sollecitazioni dopo determinazione preventiva:					
a)	3	120	225	σ _{r,28/3}	75
b)	-	225	$75 + \frac{\sigma_{r,28} - 225}{9}$	-	-
τ _{c,0} [kg/cmq] (cls b)	4 (6)				
τ _{c,1} [kg/cmq]	14 (16)				
n	10-8-6				
γ [kg/mc]	2500				
σ _{f,max} [kg/cm ²] (omog.); Aq 42	1400				
σ _{f,max} [kg/cm ²] (semid.); Aq 50	2000				
σ _{f,max} [kg/cm ²] (duro); Aq 60	2000				



Tipo di sollecitazione	DECRETO MINISTERIALE 30 maggio 1974				
	Coeff. di sicurezza	$\sigma_{r,28}$		σ_c [kg/cmq]	$\sigma_{c,max}$ [kg/cmq]
		min [kg/cmq]	max [kg/cmq]		
A) <i>Compressione semplice</i>			$\sigma_c = 0,7[1-0,03(25-s)] \cdot \bar{\sigma}_c$		
Sollecitazioni normali di calcolo:					
Sollecitazioni dopo determinazione preventiva:		150	500		103.25
				per $s < 25\text{cm}$	
B) <i>Flessione e pressoflessione</i>			$\sigma_c = 60 + \frac{R_{ck} - 150}{4}$		
Sollecitazioni normali di calcolo:					
Sollecitazioni dopo determinazione preventiva:	>2,5	150	500		147.5
			$\tau_{c,0} = 4 + \frac{R_{ck} - 150}{75}$		8.66
$\tau_{c,0}$ [kg/cmq]			$\tau_{c,1} = 14 + \frac{R_{ck} - 150}{35}$		24.0
$\tau_{c,1}$ [kg/cmq]					
f_{ctm} [kg/cmq]					
$\tau_b =$ (lisci; ad)			1,5 τ_{b0} ; 3,0 τ_{b0}		
n			10 - 15		
E			$E_c = 18000 \sqrt{R_{ck}}$		
γ [kg/mc]			2500		
$\sigma_{f,max}$ [kg/cmq] Fe B 22 k lisc.			1200		
$\sigma_{f,max}$ [kg/cmq] Fe B 32 k lisc.			1600		
$\sigma_{f,max}$ [kg/cmq] Fe B 38 k ad.			1900 - 2200 (controllato)		
$\sigma_{f,max}$ [kg/cmq] Fe B 44 k ad			2200 - 2600 (controllato)		

DM 22/07/1972 e 30/05/1972

- il concetto di classe (150/200/250/300/400/500 kg/cm²) di calcestruzzo, identificato non più per il dosaggio ma per la resistenza caratteristica cubica R_{bk}
- Anche l'acciaio viene identificato con le classi: Feb22k (barre lisce) con tensione ammissibile pari a 1200kg/cm²; Feb32k (barre lisce) con tensione ammissibile pari a 1600kg/cm²; Feb38k (aderenza migliorata) con tensione ammissibile pari a 1900kg/cm² o, se controllato, pari a 2200kg/cm²; Feb44k (aderenza migliorata) con tensione ammissibile pari a 2200kg/cm² o, se controllato, pari a 2600kg/cm²;
- Un metodo alternativo alle tensioni ammissibili con il calcolo a rottura ($FS > 1,75$) che con il DM del '74 diventa calcolo agli stati limite e che con il DM del 1980 diventa metodo semiprobabilistico agli stati limite;
- La definizione di stato limite ultimo e di esercizio, quest'ultimo per fessurazione e deformazione.

Acciaio da armatura



Tabella 1 - Evoluzione temporale delle principali indicazioni normative relative alla classificazione degli acciai di armatura

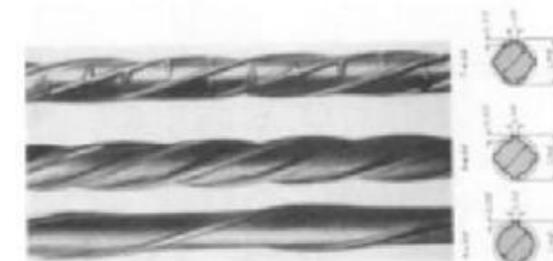
Normativa	R.D.L. n°2229/1939			LL.PP. n°1472/1957				D.M.30/05/1972					D.M. 30/05/1974			
Tipologia	liscio			liscio		a.m.	liscio		aderenza migliorata (a.m)			liscio		a.m.		
Denominazione	Dolce	Semi duro	Duro	Aq42	Aq50	Aq60		FeB22	FeB32	A38	A41	FeB44	FeB22	FeB32	FeB38	FeB44
Snervamento (kgf/mm ²)	≥ 23	≥ 27	≥ 31	≥ 23	≥ 27	≥ 31	/	≥ 22	≥ 32	≥ 38	≥ 41	≥ 44	≥ 22	≥ 32	≥ 38	≥ 44
Rottura (kgf/mm ²)	42-50	50-60	60-70	42 - 50	50 - 60	60-70	/	≥ 34	≥ 50	≥ 46	≥ 50	≥ 55	≥ 34	≥ 50	≥ 46	≥ 55
Allungamento (%)	≥ 20	≥ 16	≥ 14	≥ 20	≥ 16	≥ 14	≥ 12	≥ 24	≥ 23	≥ 14	≥ 14	≥ 12	≥ 24	≥ 23	≥ 14	≥ 12

Tabella 3 – I principali parametri statistici del database relativo alle categorie Comune, AQ42, AQ50, AQ60 ed ALE e relativi parametri delle due distribuzioni Normale e LogNormale adottate.

Periodo 1950-1972	Comune	AQ42	AQ50	AQ60	ALE	
n°prove	1464	3520	3278	949	461	
Media	276.47	322.34	370.90	435.45	512.06	
Mediana	276.45	320.80	369.30	428.30	500.20	
Dev.St.	25.10	26.59	31.84	50.06	65.41	
min	165.20	211.90	212.80	294.30	260.80	
max	386.20	486.30	557.00	656.80	884.20	
kurtosi	4.320	4.728	6.186	6.652	6.749	
LogNormal	μ	5.618	5.775	5.912	6.070	6.230
	σ	0.091	0.082	0.084	0.109	0.122
Normal	μ	276.47	322.34	370.90	435.45	512.06
	σ	25.10	26.59	31.84	50.06	65.41

Tabella 4 – I principali parametri statistici del database relativo alle categorie FeB22 e FeB32 e relativi parametri delle due distribuzioni Normale e LogNormale adottate.

Periodo 1974-1980	FeB22K	FeB32K	
n°campioni	47	612	
Media	325.11	430.03	
Mediana	332.00	420.00	
Dev.St.	39.83	53.48	
min	222.00	326.00	
max	429.00	662.00	
kurtosi	3.998	5.237	
LogNormal	μ	5.776	6.057
	σ	0.13	0.118
Normal	μ	325.11	430.03
	σ	39.83	53.48



Barre tipo Tor (da ponte)

In alcuni casi si trova anche l'acciaio TOR (Toristeg Steel Corporation of Luxembourg) sinonimo di CTD (Cold Twisted Deformed), che indica delle particolari barre di acciaio dolce, che dopo aver subito il dovuto processo di formazione a caldo, vengono laminate (deformate –allungate e torte) a freddo (Cold Working Process), ottenendo una resistenza più elevata.

Si propone un approccio MULTIRISCHIO mediante approcci speditivi + indicazioni per analisi di dettaglio e monitoraggio



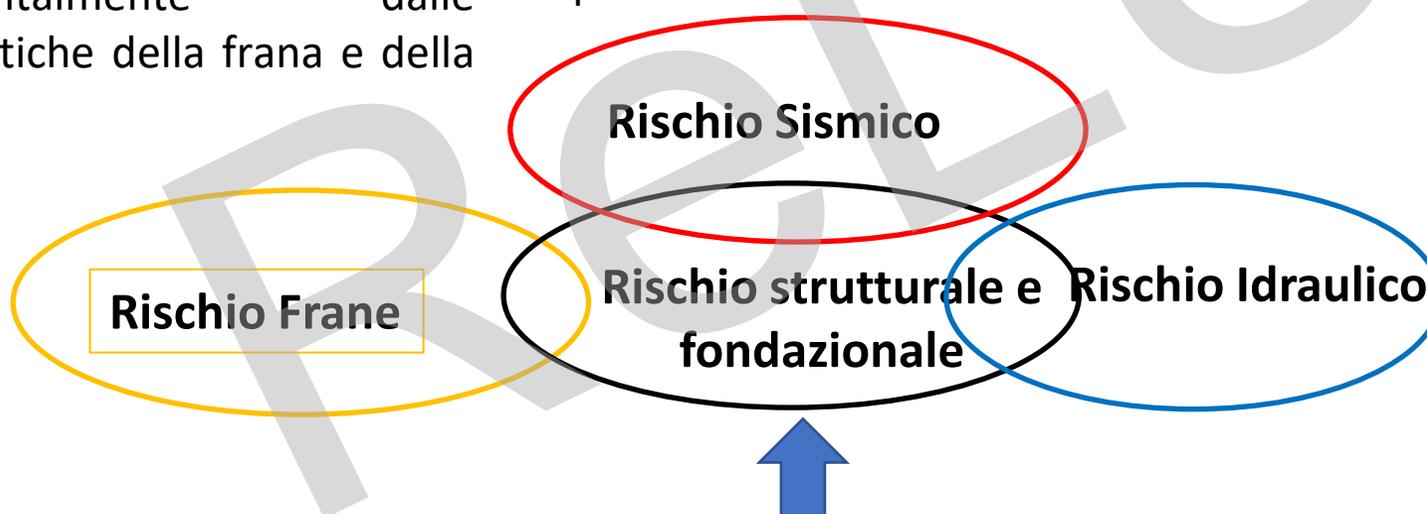
Il rischio frana dipende fondamentalmente dalle caratteristiche della frana e della spalla



Nel rischio sismico la vulnerabilità della struttura dipende dallo schema statico e dalla capacità degli elementi portanti verticali. Per gli impalcati in precompresso può essere importante l'effetto di sisma verticale



I rischi di scalzamento pile o sormonto impalcato sono indipendenti dal tipo di impalcato quindi possono essere trattati in modo trasversale. Oltre al contesto idraulico possono dipendere dal tipo di pile, spalle e fondazioni



FOCUS su rischio strutturale

2. Inquadramento delle schemi strutturali nelle varie epoche

L'inquadramento degli schemi statici e dell'epoca di costruzione forniscono ulteriori informazioni per il riconoscimento anche visivo e la focalizzazione dei punti caratteristici e critici

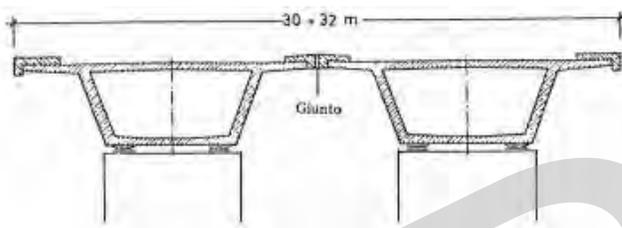
RELUIS

TIPOLOGIA DI SEZIONE

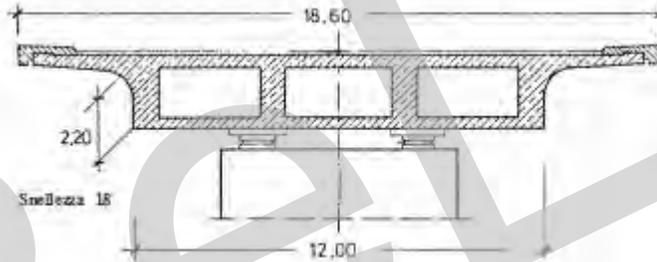
- Travi prefabbricate a "T"



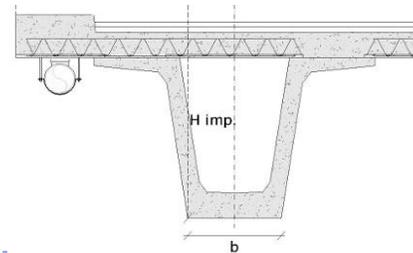
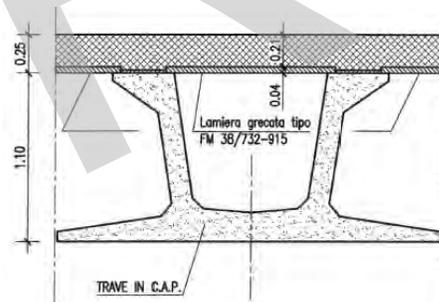
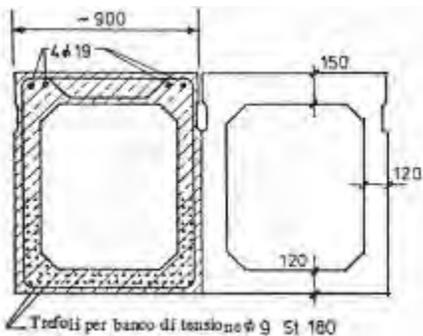
- Cassoni monocellulari



- Cassone multicellulare



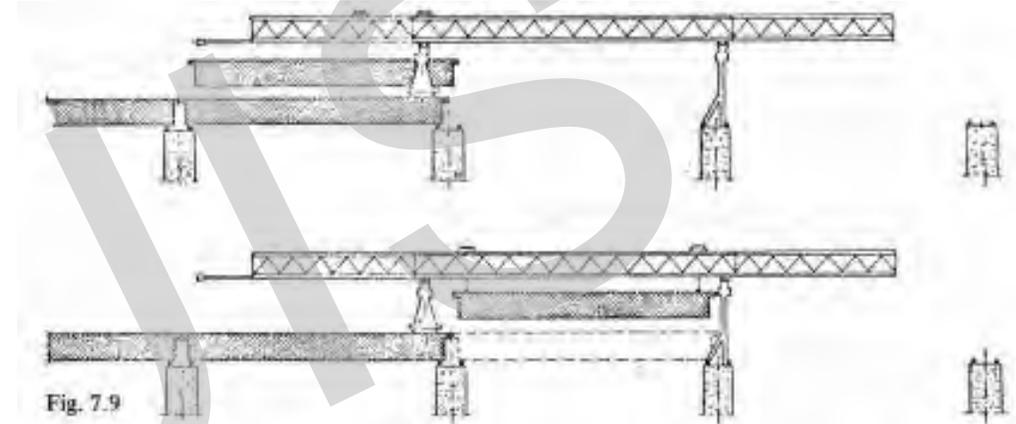
- Cassoncini affiancati



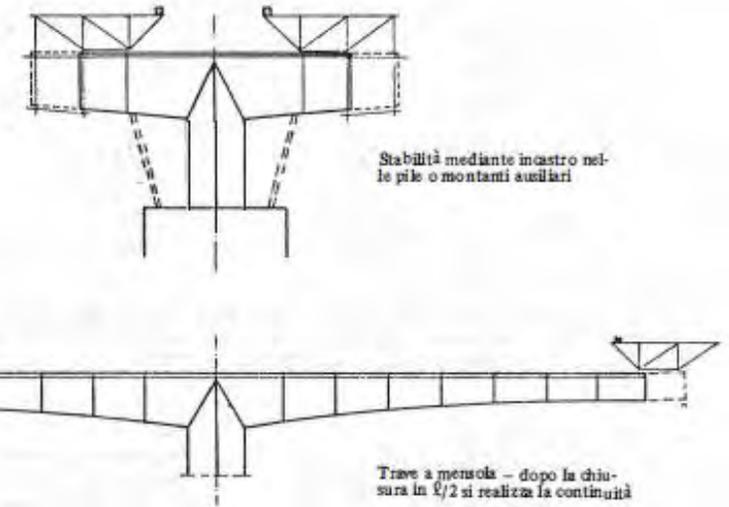
L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

SISTEMA COSTRUTTIVO

- Ponte a travata – semplice appoggio



- Conci prefabbricati post-tesi - Travata continua





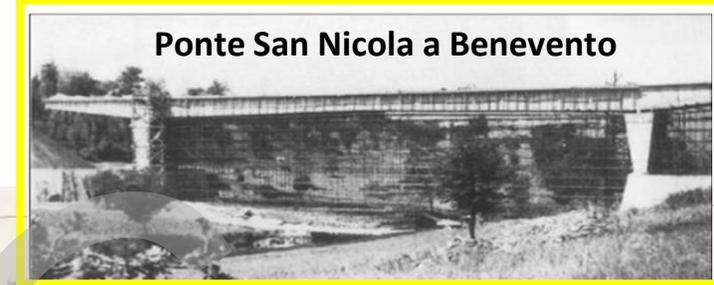
brevetto di precompressione Freyssinet

lungo 267 m, 7 campate appoggiate su 6 piedritti con altezza massima dal fondovalle di 60 m, con un impalcato di 4 m di larghezza per una sola carreggiata veicolare.

I piedritti sono tralicci in cemento armato normale formati da pilastri di sezione 60 x 80 cm, da traverse di sezione 25 x 80 cm ogni 8 m di altezza e da un cavalletto con mensole d'appoggio per le travi.

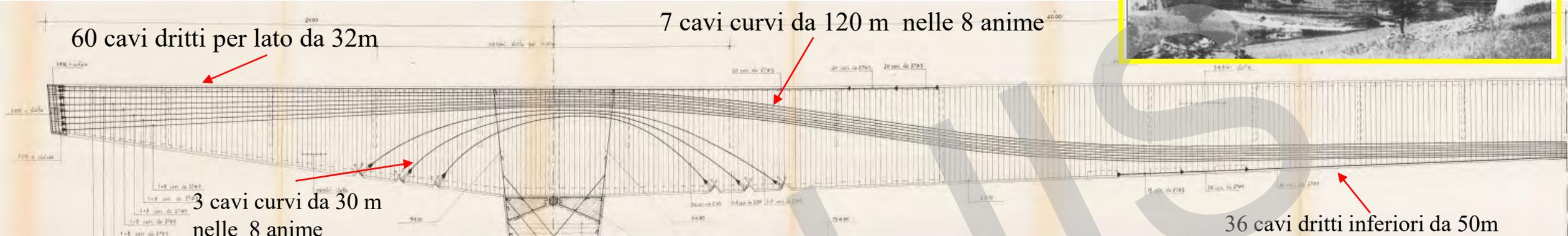
L'impalcato di ogni campata è costituito da due travi di 1,20 m di altezza e di 23,60 m di interasse fra gli appoggi, collegate da quattro traversi in calcestruzzo precompresso con 2 cavi da 12 \emptyset 5, da una soletta dello spessore di 15 cm gettata tra le ali delle travi e precompressa solo trasversalmente da un cavo da 12 \emptyset 5 ogni 50 cm.

Ponte in c.a.p. post-teso progettato da Riccardo Morandi nel 1952-1955



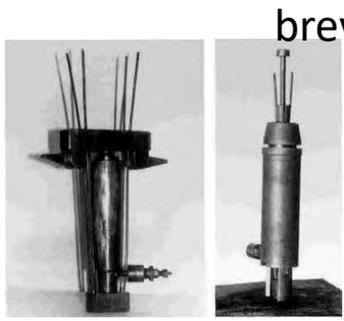
Ponte San Nicola a Benevento

252 cavi in totale, ciascuno costituito da 27 fili $\Phi 5$ e ancorati in differenti sezioni mediante piastre

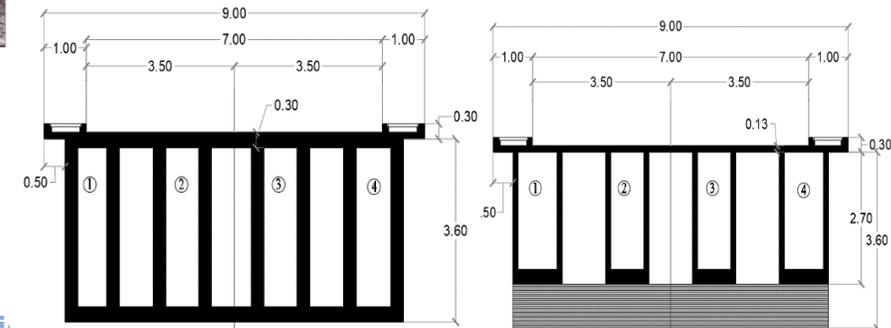
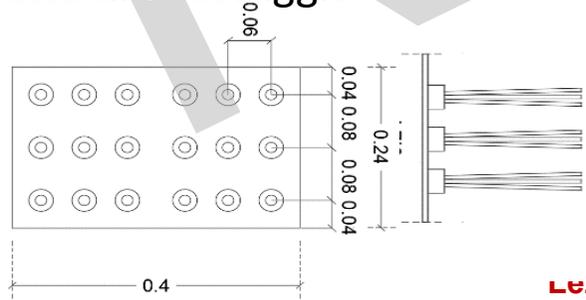


Interamente gettato in opera
 Schema a telaio
 Campata 80m e sbalzi 20m
 Cavi curvi e rettilinei
 Sezione a cassone ispezionabile
 Resistenza cubica minima di progetto 450 kg/cm²
 Resistenza cubica media impalcato 54.2MPa
 Resistenza cubica media pile 39.2 MPa

La struttura ha una configurazione meno comune pertanto è più difficile controllarlo
 E' importante ispezionare l'interno dei cassoni



brevetto di ancoraggio



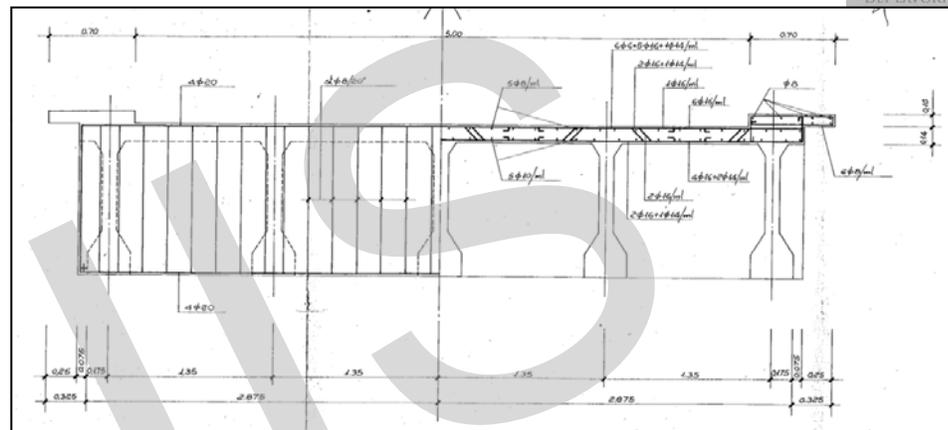
sezione di appoggio sezione di campata





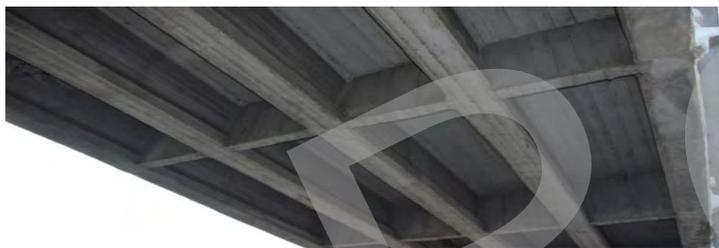
Interamente gettato in opera

Sezione impalcato



Luce di 20m

La sezione diventa rettangolare in appoggio per ospitare gli ancoraggi
 Gli ancoraggi non sono visibili perché non c'è spazio tra impalcato e spalla
 Non si rilevano dispositivi di appoggio, potrebbero esserci cuscinetti di neoprene di spessore molto piccolo

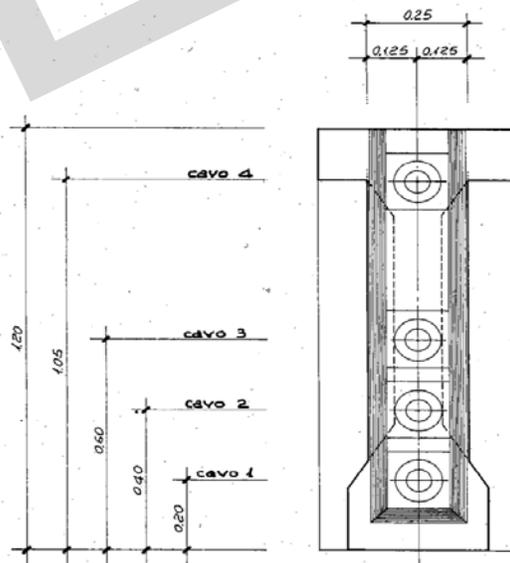
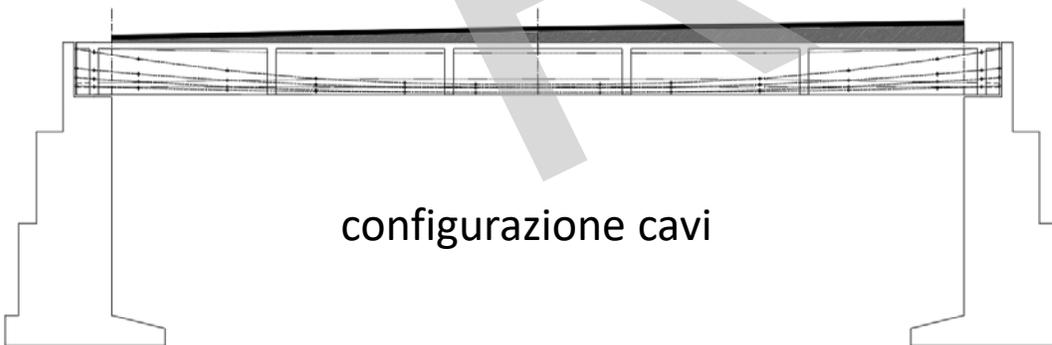


SEZIONE 15-15

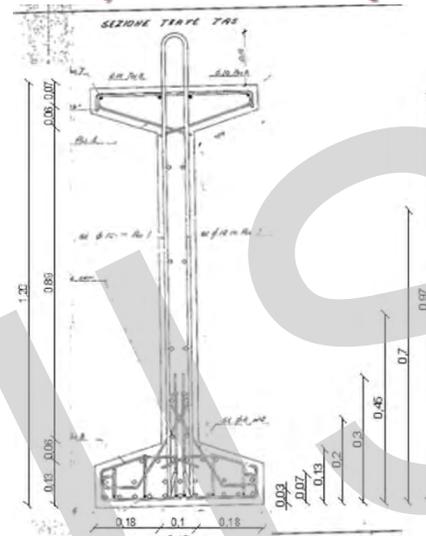
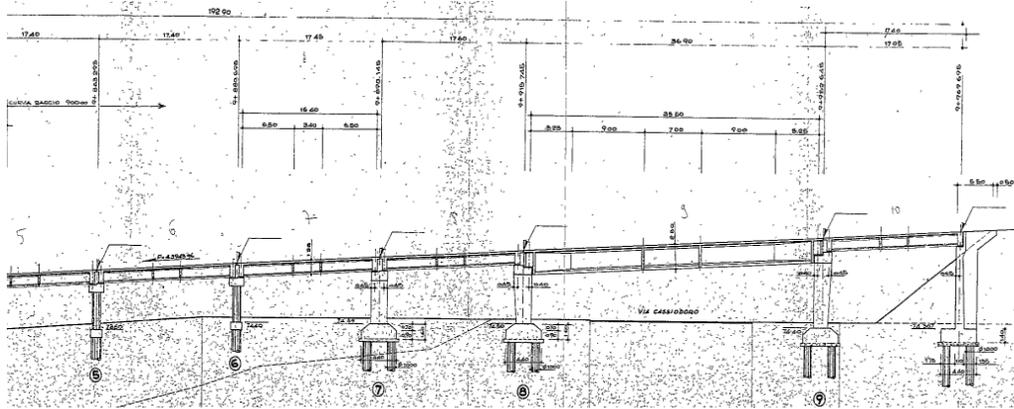
SEZIONE 10-10

SEZIONE 5-5

configurazione cavi



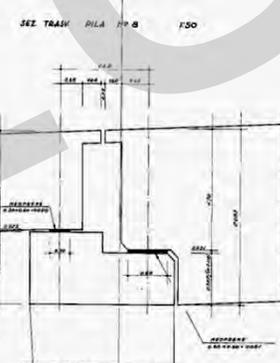
Ponte in c.a.p. del 1968 - 10 campate con travi pre-tese (tipo TAS) e una campata pot-tesa



trefoli in testata

Le campate in c.a.p. pre-teso L=17m, campata in c.a.p. post-teso L=35m

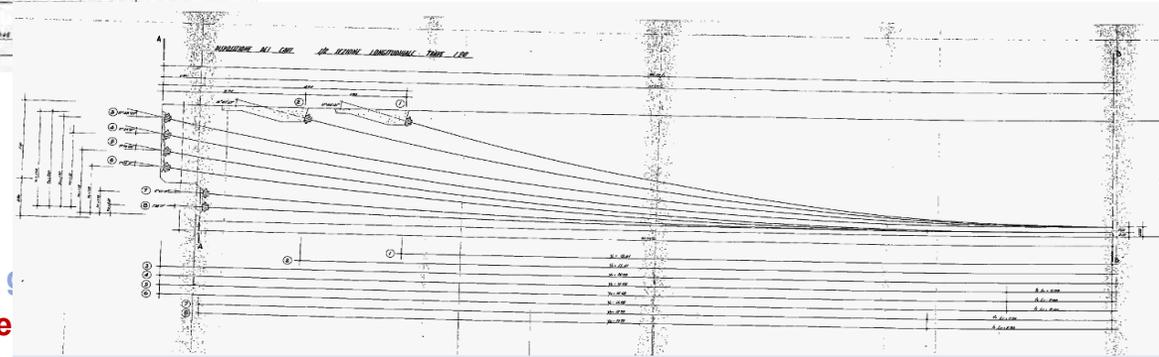
Trave TAS – la sezione è costante per tutta la lunghezza
La trave è prefabbricata



La trave con cavi post-tesi diventa rettangolare all'estremità per ospitare le testate e si appoggia con una **sella Gerber**
La trave è interamente gettata in opera



cazione delle linee
- Le linee guida pe

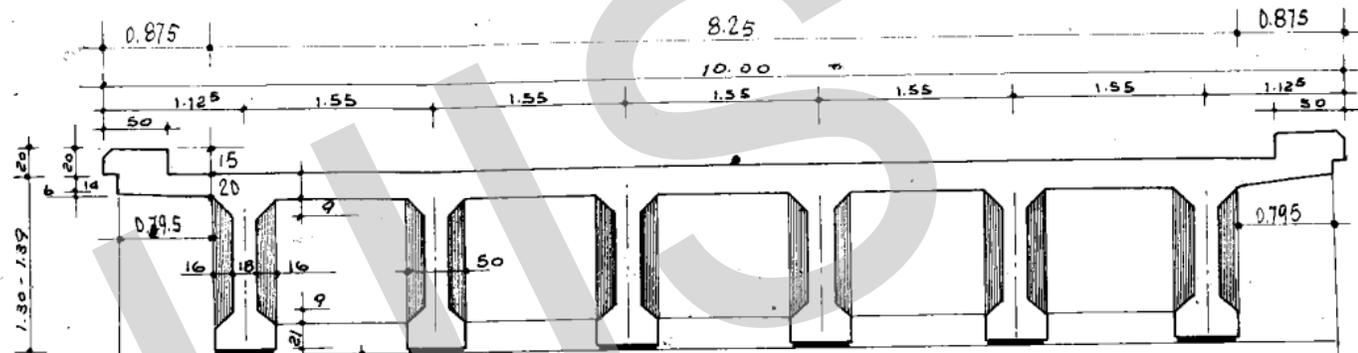


Tipologie ponti in c.a.p. post-teso (prefabbricato anni '70)



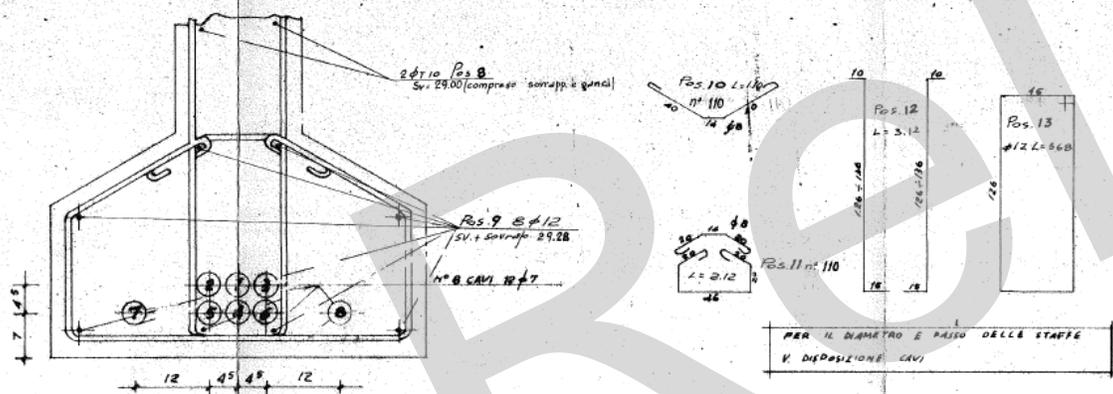
27 m

sezione trasv. impalcato centrale

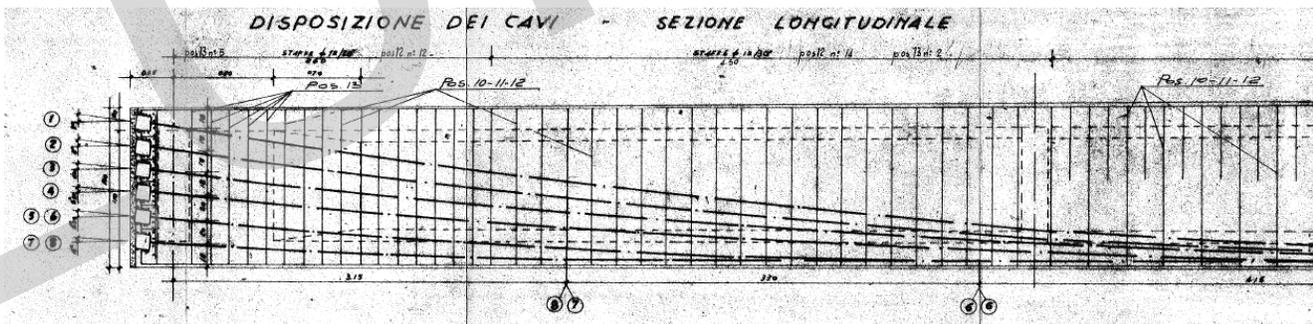


PARTICOLARE CAVI IN MEZZERIA

SCALA 1:5



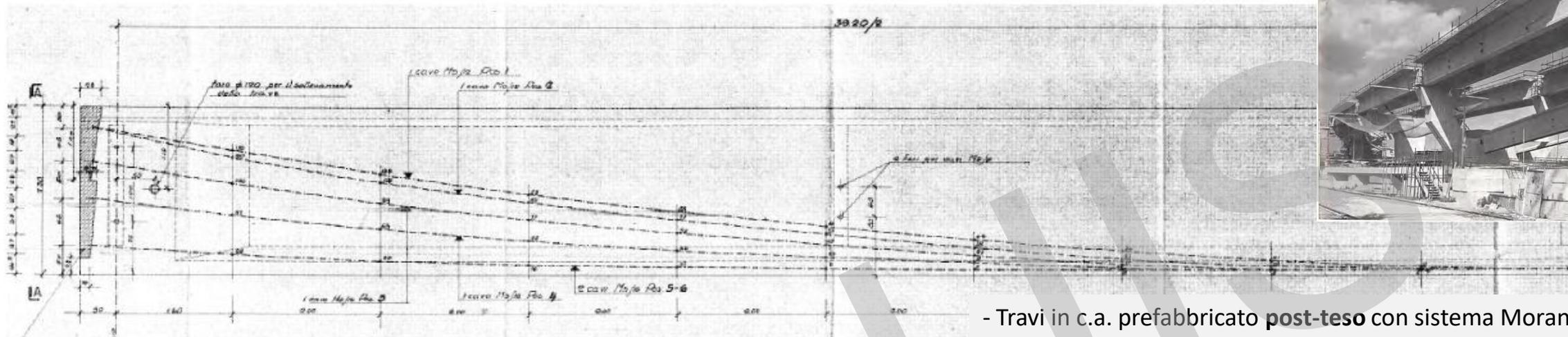
DISPOSIZIONE DEI CAVI - SEZIONE LONGITUDINALE



- Travi in c.a. gettato in opera **post-teso**
- Ponte a travata semplice di luce 27 m (impalcato a 6 travi ad I)
- Anima spessore 18 cm
- Cavi ad andamento parabolico
- Traversi in assenza di ricoprimento laterale
- Soletta gettata in opera
- Bulbo inferiore «alto» per accogliere i cavi in mezzeria

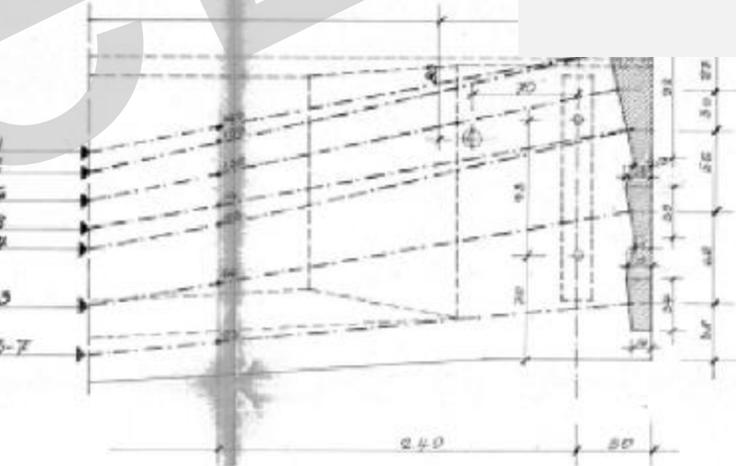
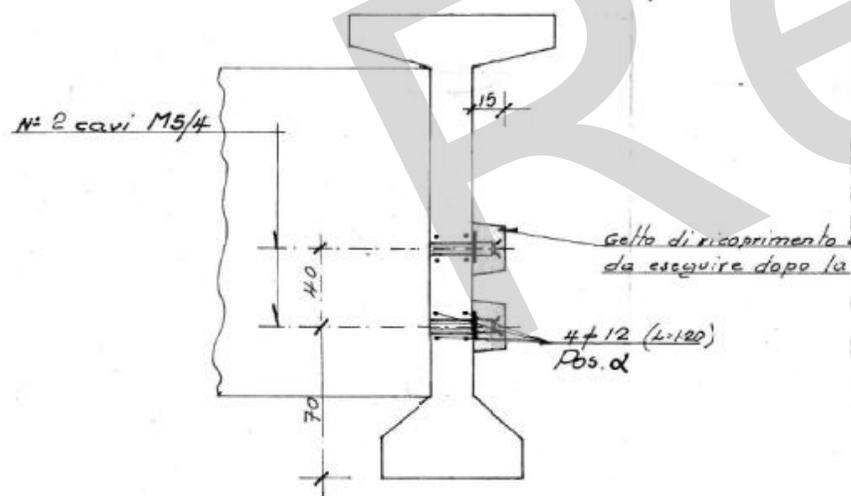
Tipologie ponti in c.a.p. post-teso (anni '70)

reluis



- Travi in c.a. prefabbricato **post-teso** con sistema Morandi M5
- Ponte a travata semplice di luce 30-40m (impalcato a 2-3 travi ad I)
- Anima sottile spessore 20 cm
- Cavi ad andamento parabolico
- Traversi gettati in opera e post-tesi
- Soletta prefabbricata con getto di completamento
- Getto tamponi in testata per protezione ancoraggi-
- Bulbo inferiore «alto» per accogliere i cavi in mezzera

Armatura in corrispondenza degli ancoraggi
dei cavi M5/4 dei trasversi



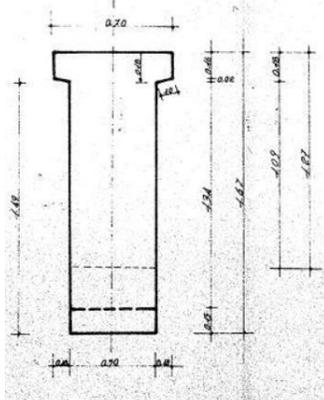
Tipologie ponti in c.a.p. post-teso



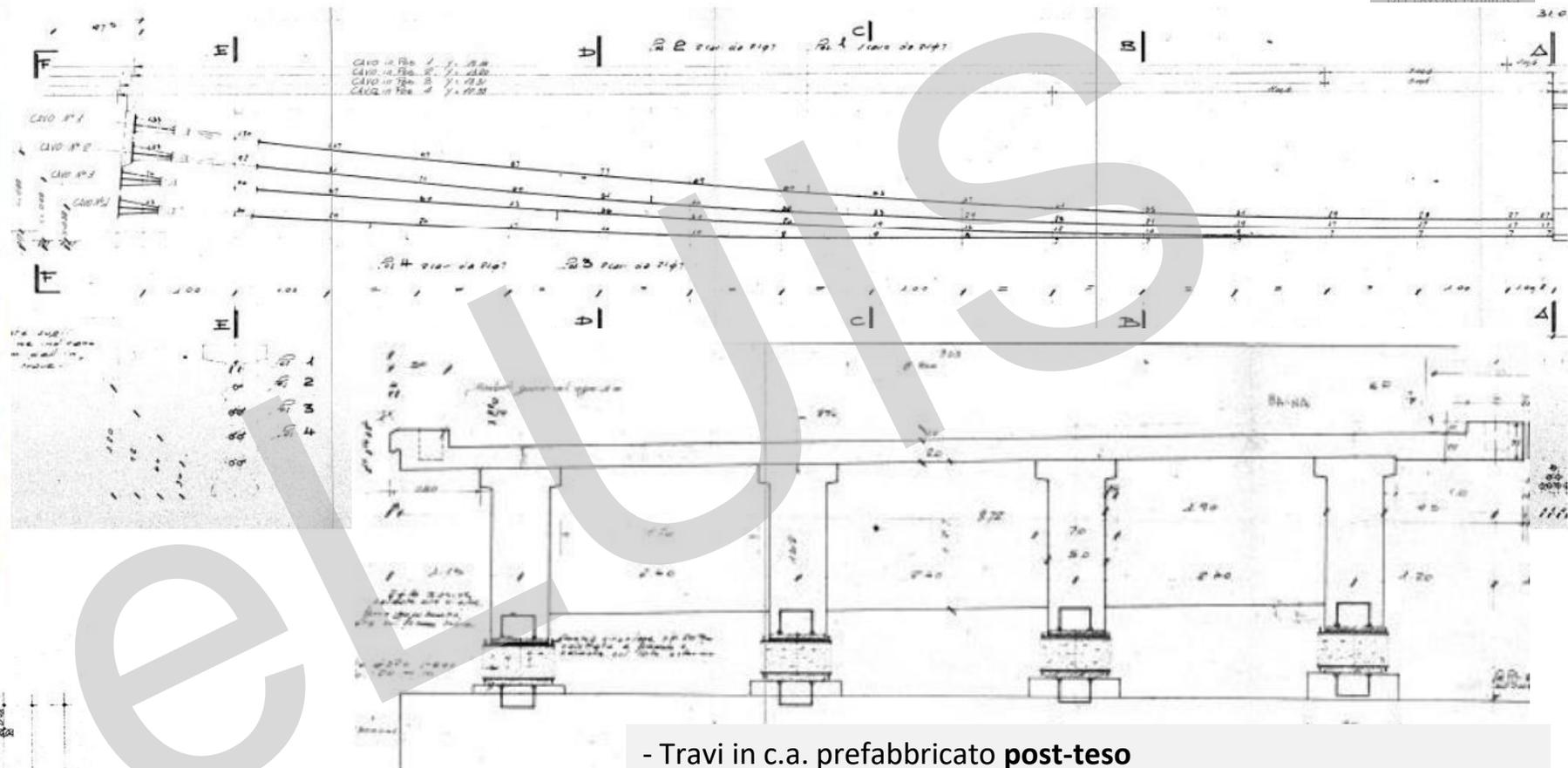
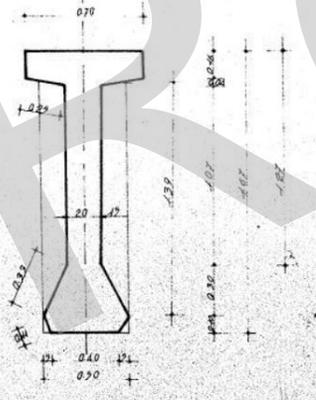
FOTO 2



sez. testata



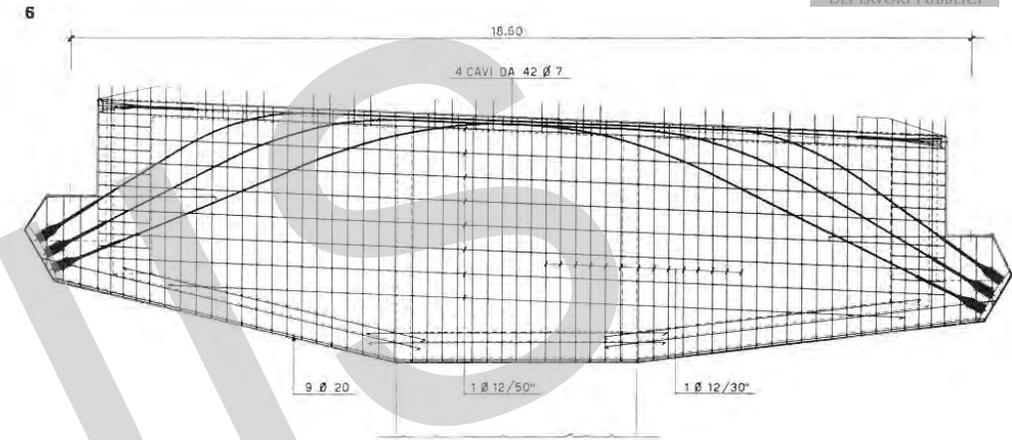
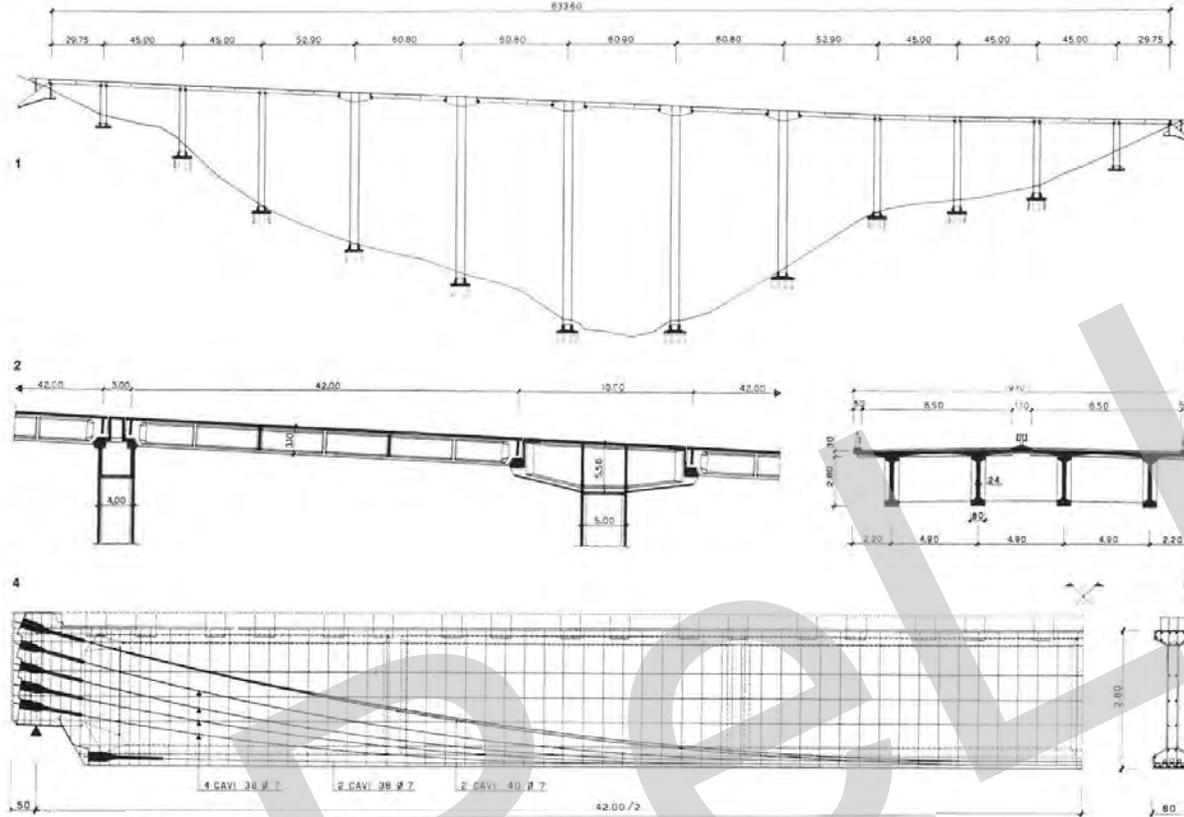
sez. A-A



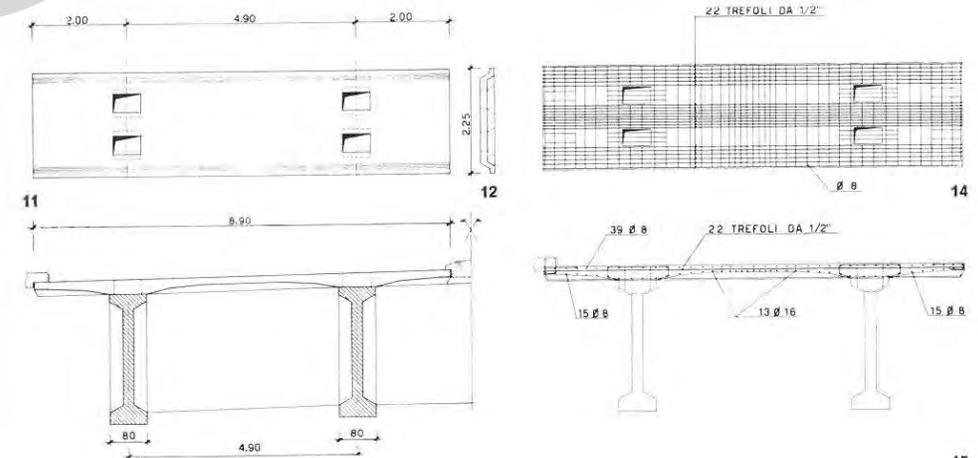
- Travi in c.a. prefabbricato **post-teso**
- Ponte a travata semplice di luce 31 m (impalcato a 4 travi ad I)
- Anima spessore 20 cm
- Cavi ad andamento parabolico
- Traversi in assenza di ricoprimento laterale
- Soletta gettata in opera
- Bulbo inferiore «alto» per accogliere i cavi in mezzera

Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

Lezione 1 - Le linee guida per i ponti esistenti



Soletta pre-tesa

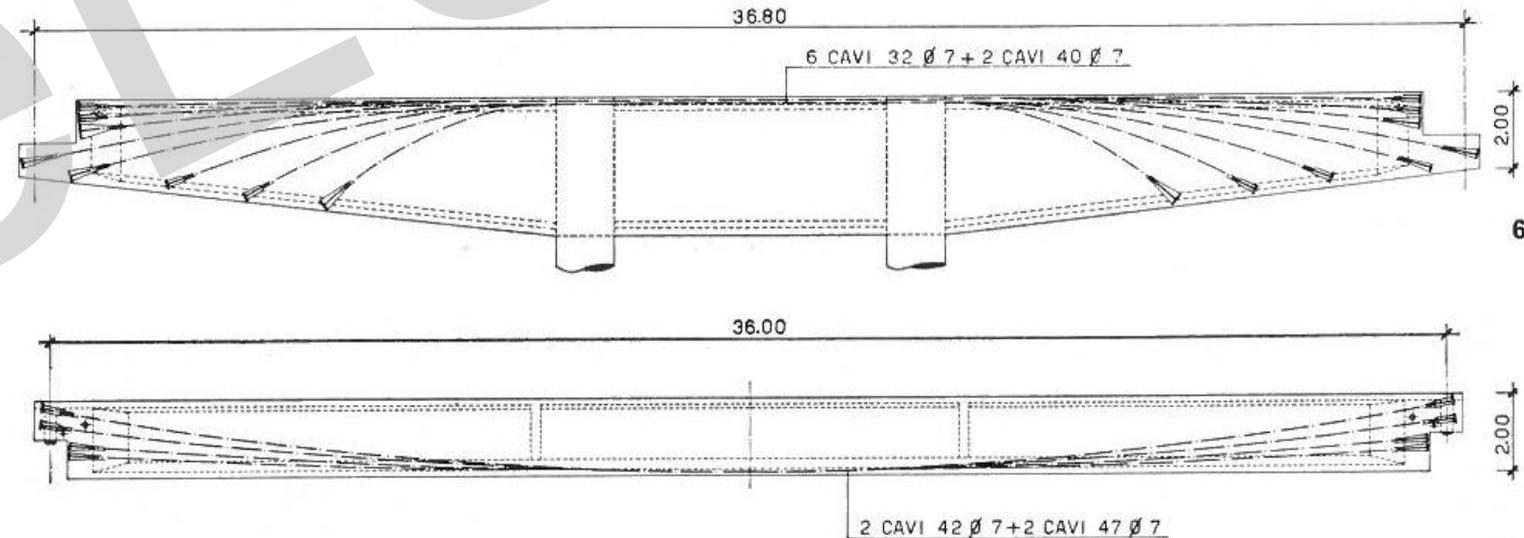
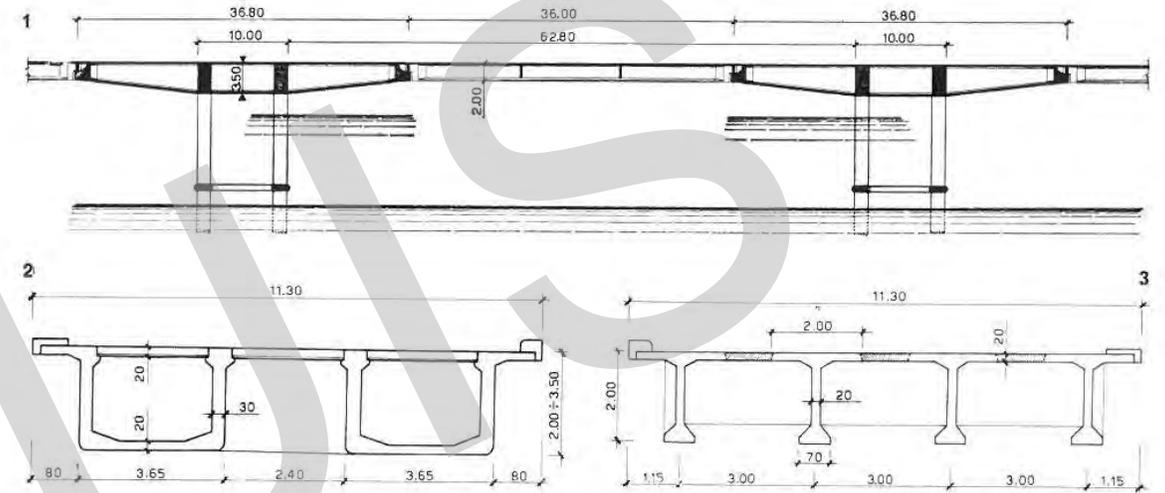


Resistenza del calcestruzzo 470kg/cm²

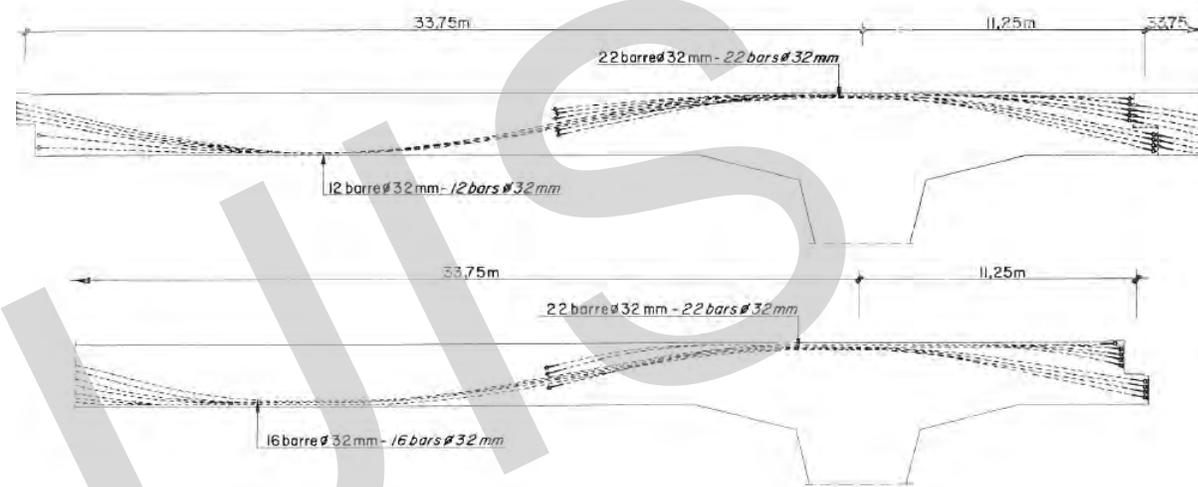
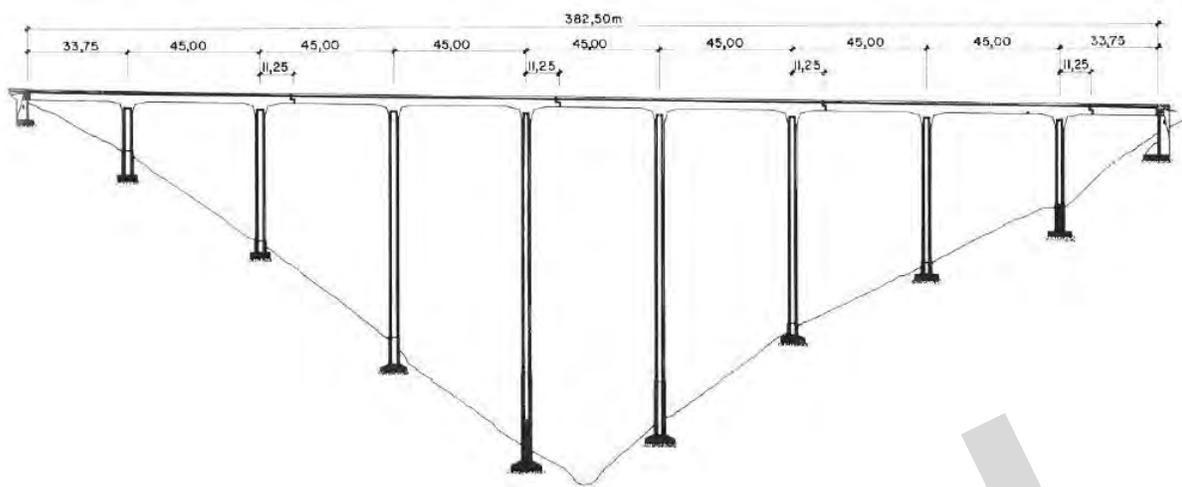
Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

Lezione 1 - Le linee guida per i ponti esistenti

Ponti in c.a.p. con schema a mensole e travi appoggiate 1968-1970



Resistenza del calcestruzzo 470kg/cm^2



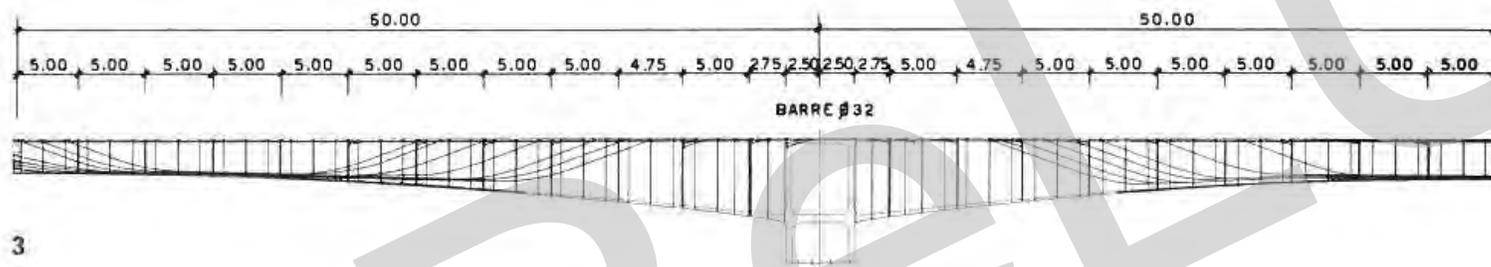
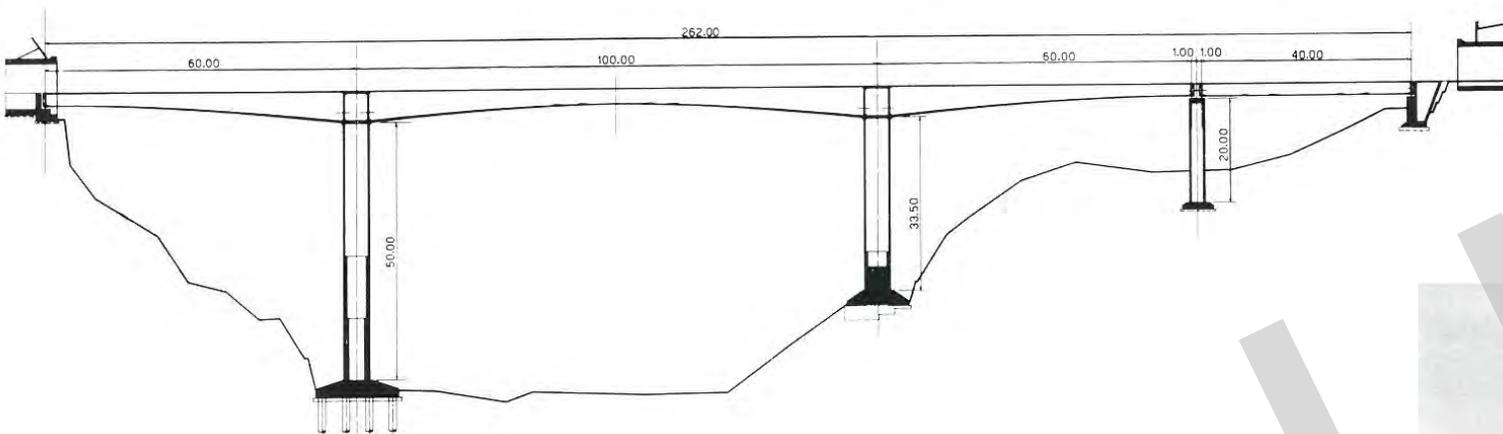
Dopo la costruzione per conci lo schema è costituito da telai con 2 pile collegate da cerniere mediante selle Gerber



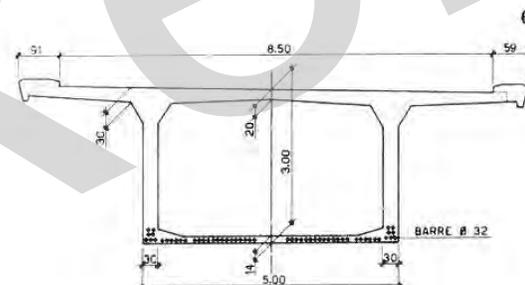
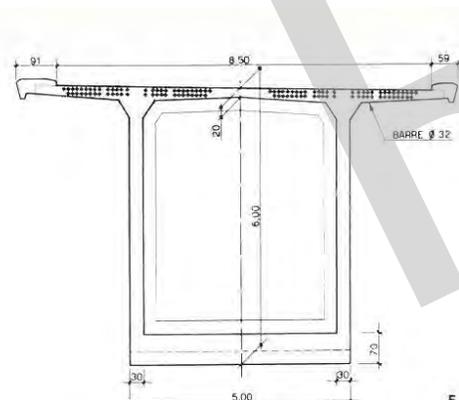
Sistema a conci precompresso con barre Diwydag Luci maggiori di 100m

Carico di rottura cubico, a 28 giorni, del calcestruzzo della struttura precompressa: 500 Kg/cm^2

Carico di rottura dell'acciaio: 105 Kg/mm^2 nelle barre e 170 Kg/mm^2 nei cavi



3

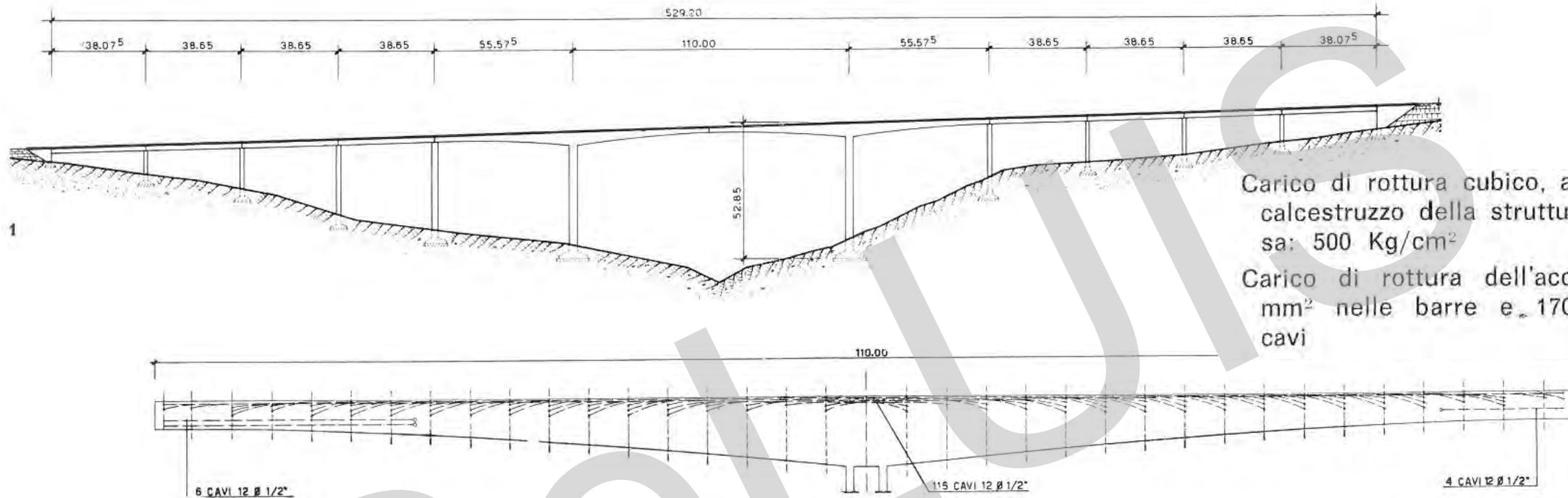


6



Dopo la costruzione per conci lo schema diventa continuo

Sistema a conci precompresso con barre Diwydag Luci maggiori di 100m



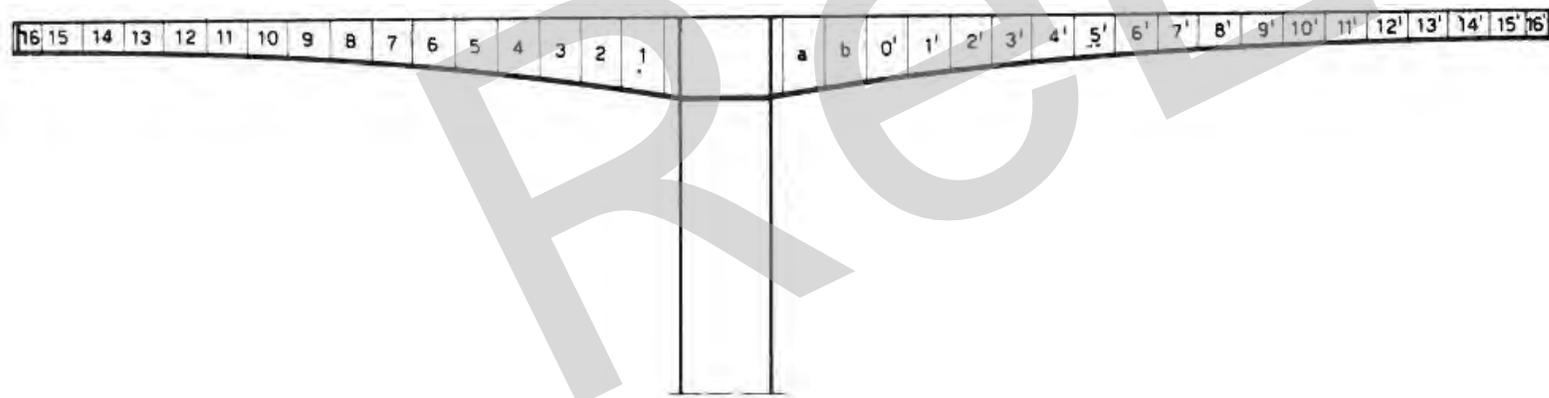
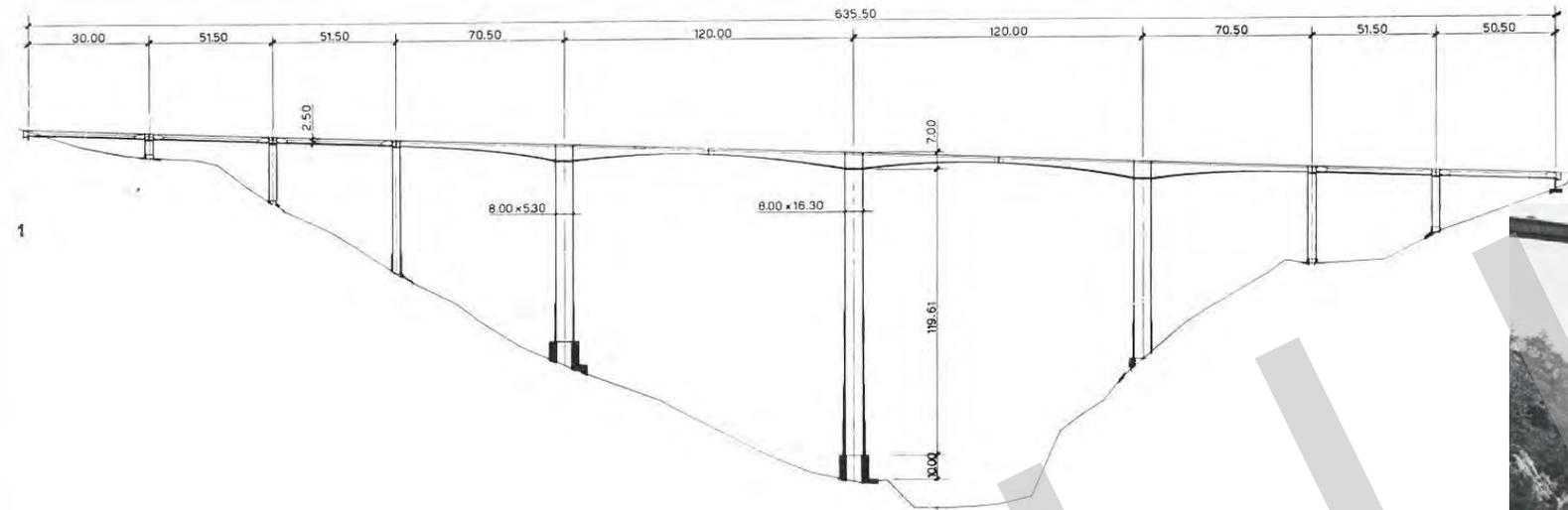
Carico di rottura cubico, a 28 giorni, del calcestruzzo della struttura precompressa: 500 Kg/cm²

Carico di rottura dell'acciaio: 105 Kg/mm² nelle barre e 170 Kg/mm² nei cavi

Dopo la costruzione per conci lo schema principale è costituito dal telaio con 2 pile e 2 appoggi di estremità



Sistema a conci precompresso con barre Diwydag Luci maggiori di 100m



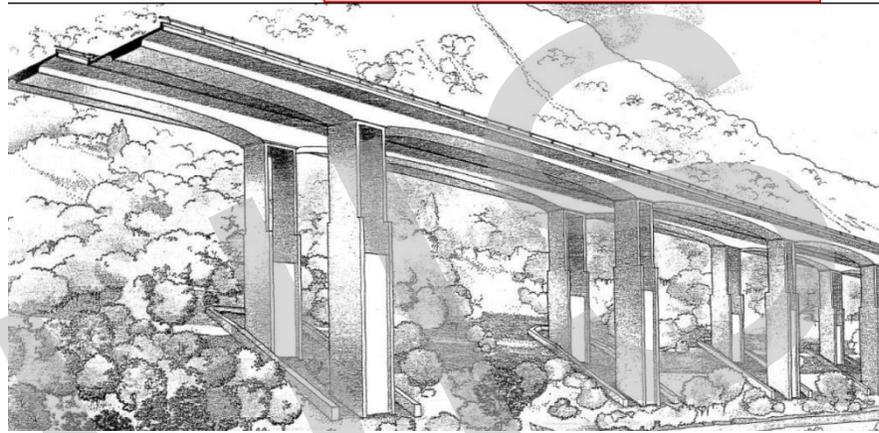
Dopo la costruzione per conci lo schema principale è costituito dal telaio con 2 pile e 2 appoggi di estremità

Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

Lezione 1 - Le linee guida per i ponti esistenti

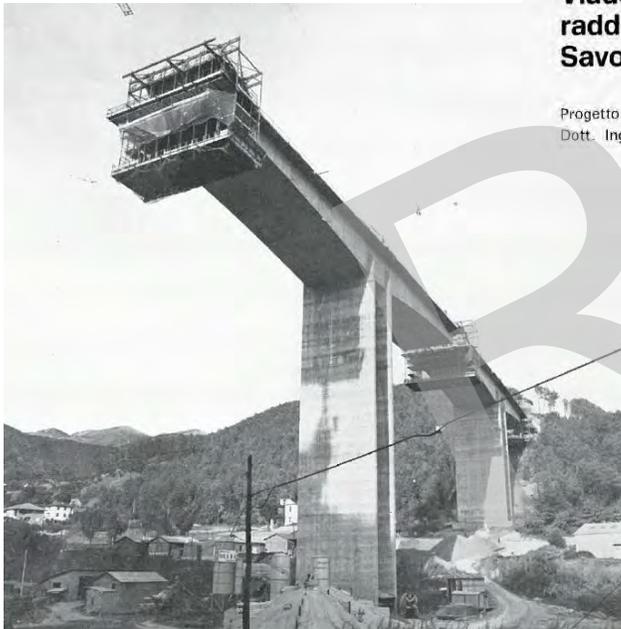
GUIDO FURLANETTO

VIADOTTO FADALTO,
VITTORIO VENETO (1992)



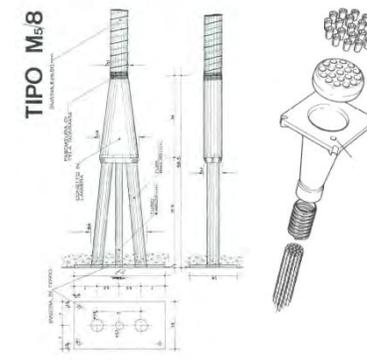
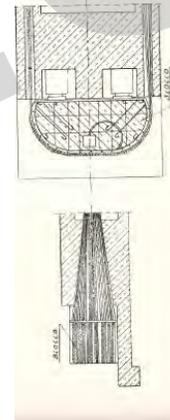
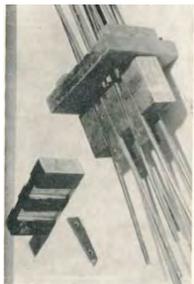
Viadotto sul torrente Lerone per il raddoppio dell'Autostrada Genova-Savona

Progetto:
Dott. Ing. Silvano Zorzi, Dott. Ing. Enrico Faro



SUCCESSIONE CRONOLOGICA* DEI PRIMI BREVETTI PER ANCORAGGI

Freyssinet (fili)	1942
Magnel-Blaton	1944
Primo brevetto Morandi	1948
Rinaldi, Balducchi	Fine anni '40- inizio '50
BBRV	1952
Dywidag	1953
Barredo	1954
Baur-Lehonardt	Metà anni '50
Macchi	1959
Morandi M5	1961
STUP Freyssinet (trefoli)	1963
Tecnicavi	1966



* Si riporta qui l'anno di pubblicazione del brevetto (se noto); l'anno di priorità e di utilizzo può precedere di 1 - 2 anni, a seconda dei casi, quello ufficiale di pubblicazione.

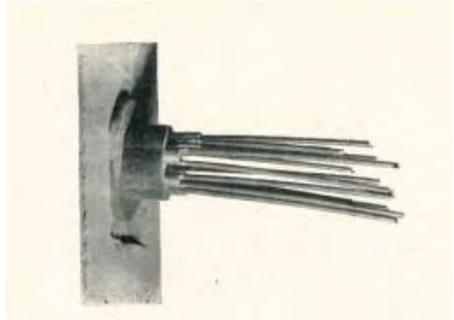
Oltre 70 brevetti di dispositivi di ancoraggio presenti a livello internazionale già nel 1962! (Rinaldi, 1962)

Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

Lezione 1 - Le linee guida per i ponti esistenti

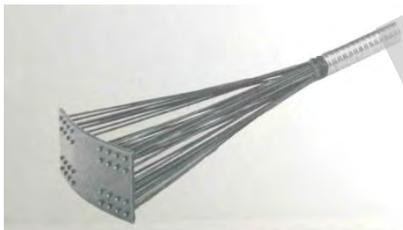
Mobilità ancoraggio

- Mobili (di tiro)



Rinaldi

- Fissi



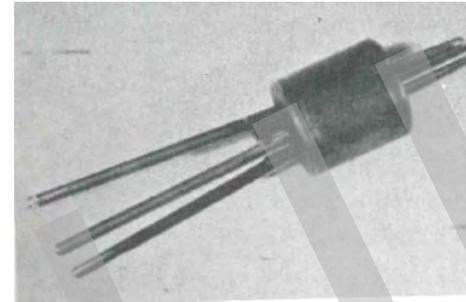
BBRV

Azione esercitata

- A cuneo

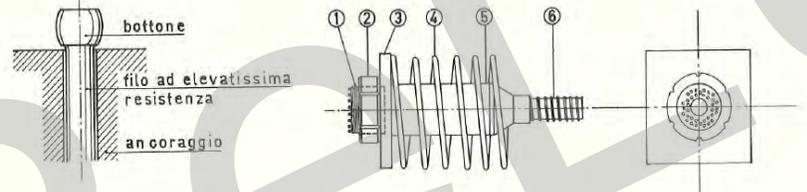


Freyssinet



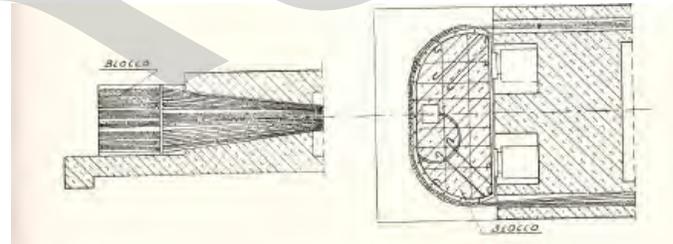
Morandi

- Sostegno diretto



BBRV

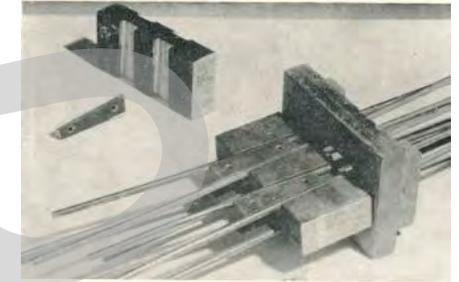
- Avvolgimento



Baur-Leonhardt

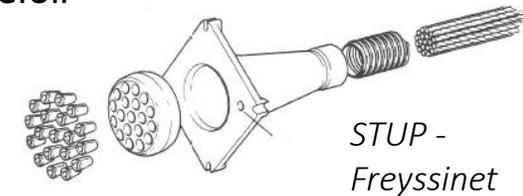
Elemento tesato

- Fili



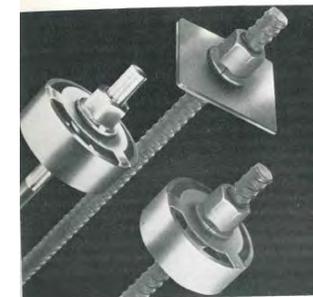
Magnet-Blaton

- Trefoli



STUP - Freyssinet

- Barre



Dywidag-Finsterwalder

Ancoraggio Freyssinet (1942)



Azione esercitata: a cuneo

Elemento tesato: fili (generalmente 12f5, 12f7 o 12f8)

Funzionamento: i fili vengono fatti passati tra la faccia interna del cilindro e quella esterna del cono, che è scanalato secondo le generatrici per tenerli in sede. Il martinetto tesa le armature e forza il cono nel cilindro.

Ponte Vallesella sul Piave (BL), 1949-50, una delle prime applicazioni del brevetto Freyssinet in Italia
(<http://murimuseodiffuso.it/it/viadotto-sul-fiume-piave-0>).

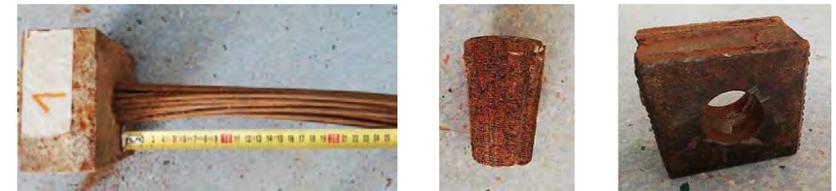


DATI TECNICI

- schema statico: travi appoggiate su mensole collegate ai piedritti costituiti da tralicci in c.a. campate: 7
- luce netta campate: 23.60 m
- lunghezza totale ponte: 267 m
- larghezza ponte: 4 m
- spessore ponte: 1,30 m
- travi affiancate: 2
- traversi: 4 per campata
- composizione cavi: 12 fili di acciaio Ø 5 mm
- tensione iniziale nei fili: 100 kg/mm²
- tensione di esercizio nei fili: 74 kg/mm²
- caduta totale di tensione prevista: 26%
- sforzo di ciascun cavo in esercizio: 17.427 kg
- sforzo massimo di compressione nel calcestruzzo all'atto della precompressione: 230 kg/cm²
- sforzo massimo di compressione nel calcestruzzo in esercizio: 115 kg/cm²
- sforzo massimo di trazione nel calcestruzzo: 8 kg/cm²
- carico di rottura cubico a 28 giorni del calcestruzzo della struttura precompressa: 550 kg/cm²
- carico di rottura nell'acciaio adoperato: 150 kg/mm²
- limite elastico dell'acciaio: maggiore di 120 kg/mm²
- quantità di materiale adoperato:
- calcestruzzo per strutture precomprese: 210 m³ pari a 0,31 m³ per m² di impalcato
- ferro omogeneo per strutture precomprese: 9.200 kg pari a 14 kg per m² di impalcato
- n. totale dei cavi: 602 per complessivi 6.700 m e 13.400 kg. pari a 20 kg per m² di impalcato

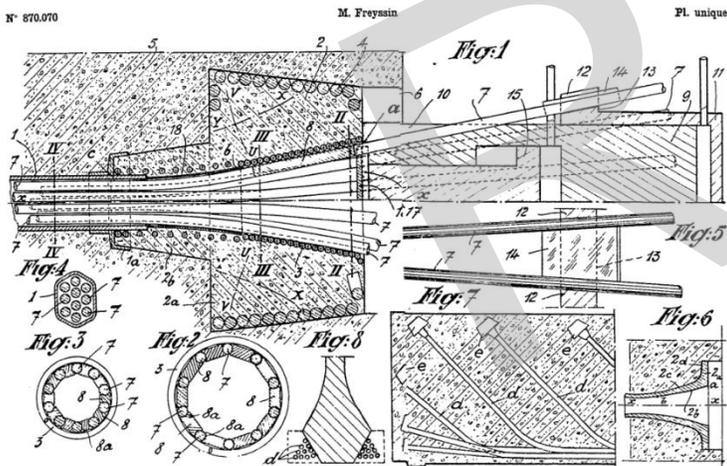
Alcune criticità del sistema di ancoraggio

CORROSIONE DELLA ZONA DI ANCORAGGIO per mancata protezione



DIFETTI DI INIEZIONE

INDEBOLIMENTO/ROTTURA DEI FILI



Brevetto Freyssinet FR870070, 1942

Ancoraggio Morandi M5 (1961)

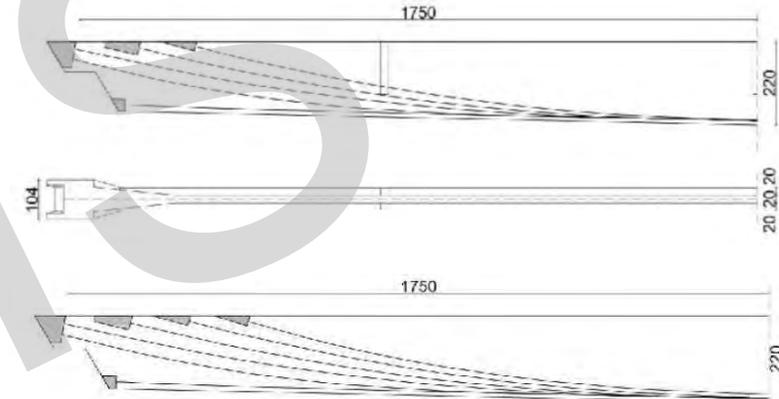


Azione esercitata: a cuneo

Elemento tesato: trefoli a 7 fili con diametro nominale da 1/2"

Funzionamento: L'insieme di cilindri e spine coniche bloccano quattro trefoli per volta. Nel sistema, ogni cavo si costituisce di un numero di unità da 4 trefoli compreso tra 1 a 6. Sia la tesatura che il bloccaggio avvengono idraulicamente, mediante un doppio martinetto azionato da pompa elettrica.

Viadotto Akragas (AG), 1970 (Scibilia & Giancontieri 2018), con travi interne ed esterne armate con cavi M5/16 e M5/8

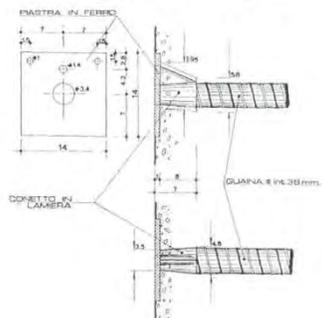


Alcune criticità del sistema di ancoraggio

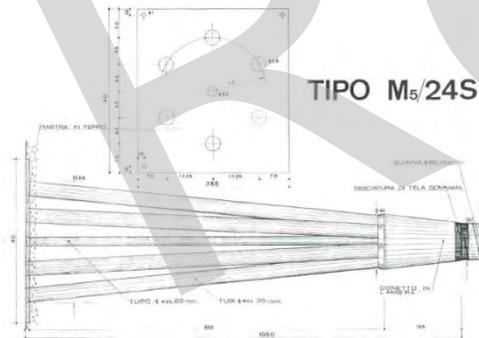
CORROSIONE DELLA ZONA DI ANCORAGGIO per non corretta esecuzione del tampone di ricoprimento o a seguito di comparsa di lesioni nel calcestruzzo che costituisce il tappo a seguito di ripetuti cicli di gelo/disgelo



TIPO M5/4



TIPO M5/24S



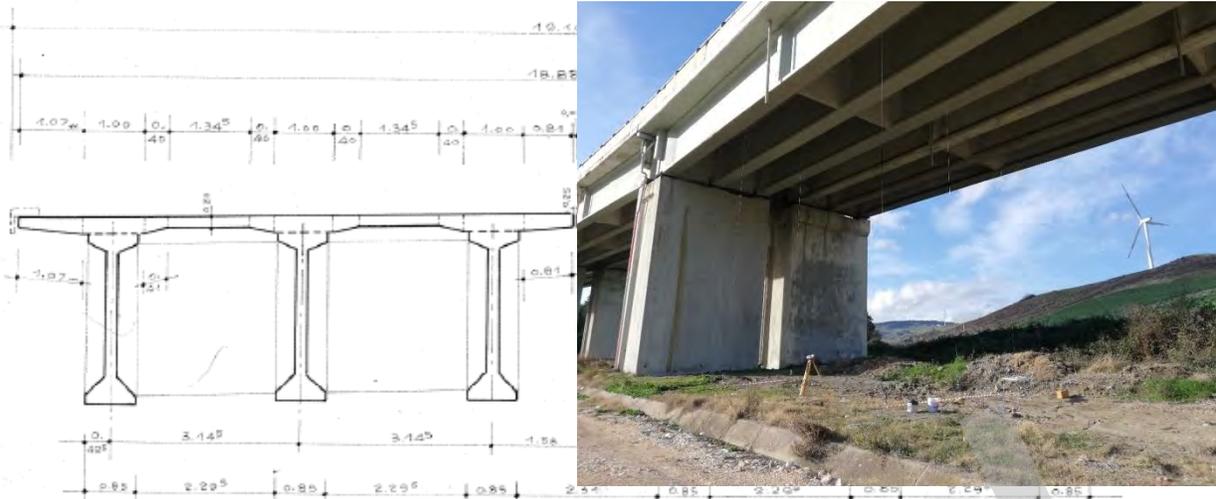
Terminali mobili tipo M5/4 e tipo M5/24S (immagini da Morandi, Cesap, 1973).

Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

Lezione 1 - Le linee guida per i ponti esistenti

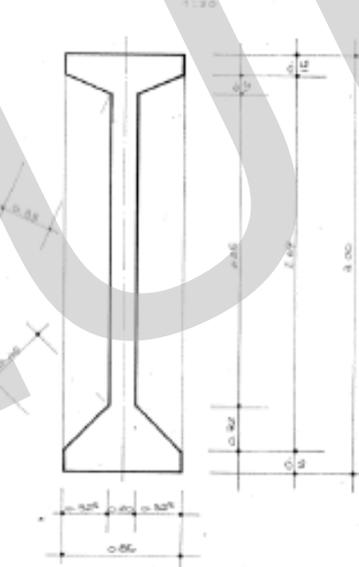
DEGRADO LOCALIZZATO DEL TREFOLO IN CORRISPONDENZA DELLA TESTATA MORTA per inadeguato ricoprimento del cappio

SEZIONE TRASVERSALE

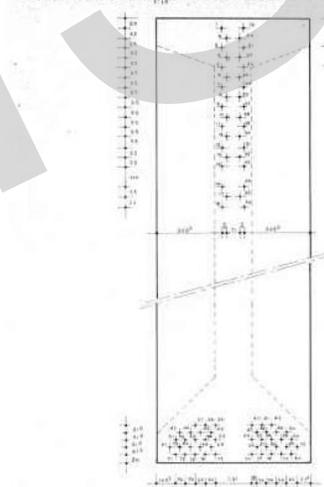


- Travi in c.a. prefabbricato **pre-teso**
- Ponte a travata semplice di luce 40m (impalcato con 3 travi ad I)
- Anima spessore 20 cm
- Cavi ad andamento poligonale
- Traversi prefabbricati e post-tesi
- Soletta prefabbricata precompressa con getto di completamento
- Bulbo inferiore «basso»

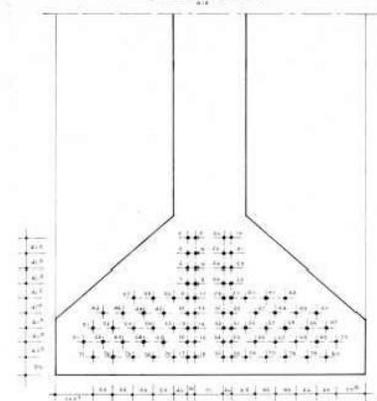
SEZIONE TRASVERSALE A-A



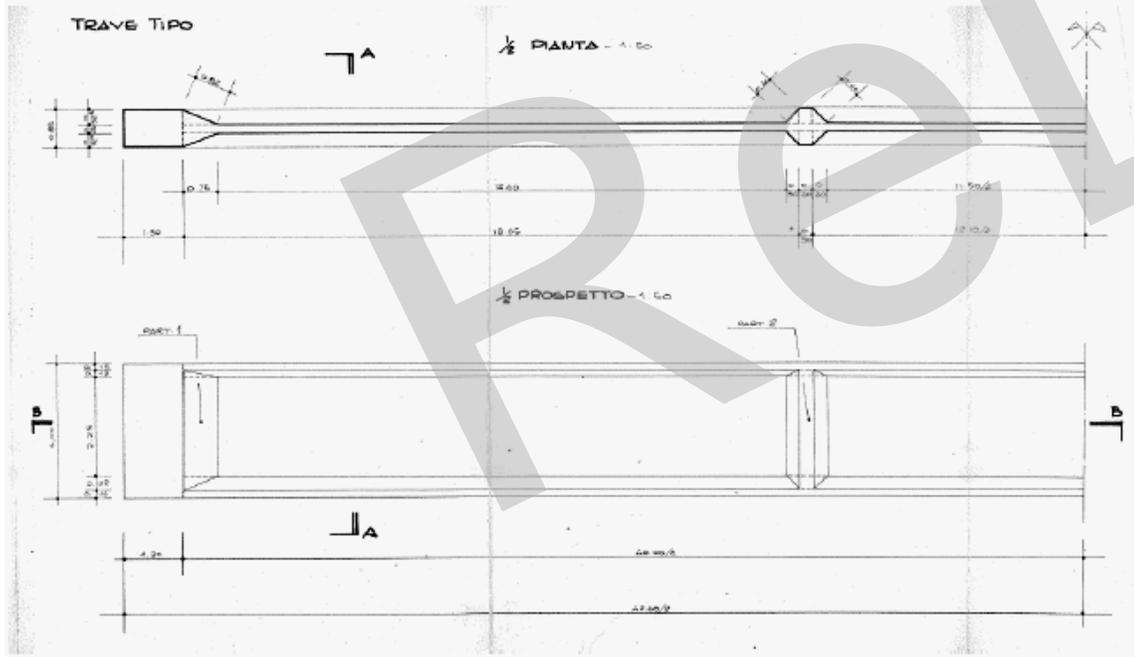
DISPOSIZIONE DEI TRAFOLI IN TESTATA



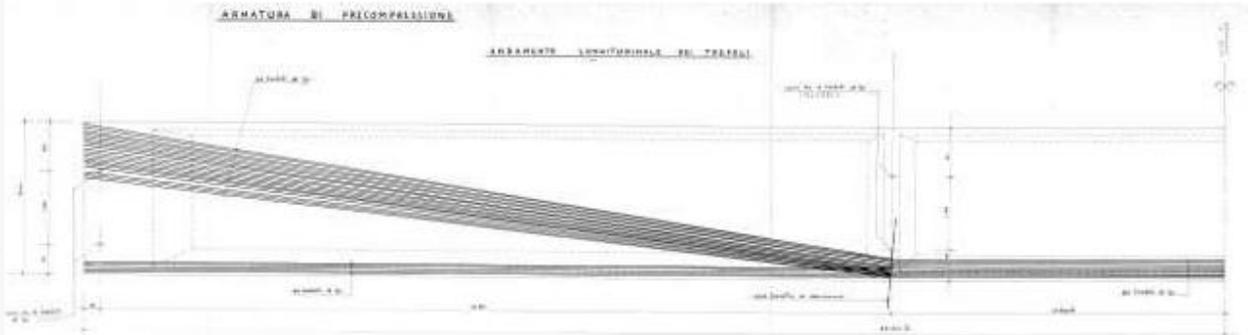
DISPOSIZIONE DEI TRAFOLI IN MEZZERIA

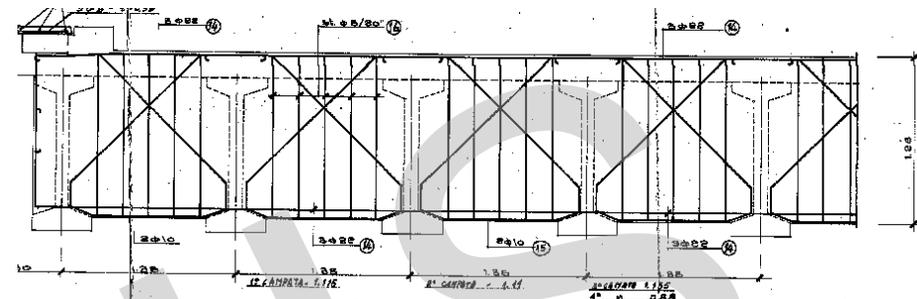


TRAVE TIPO

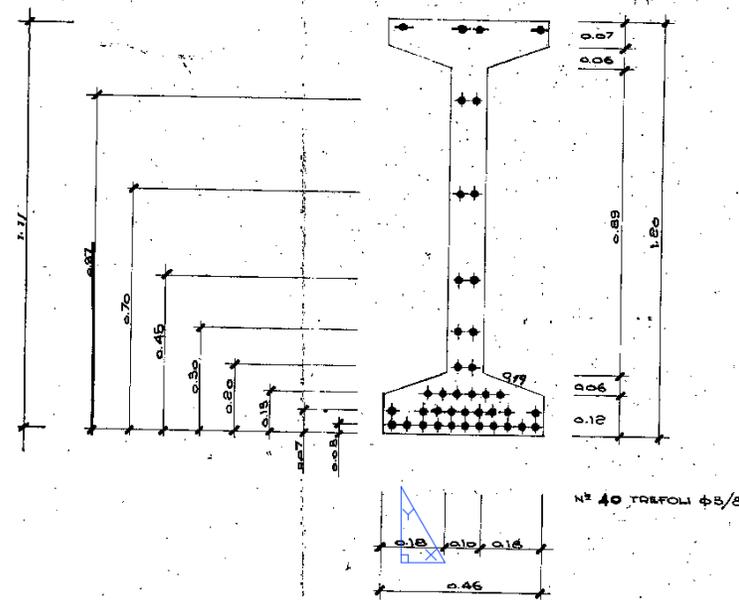
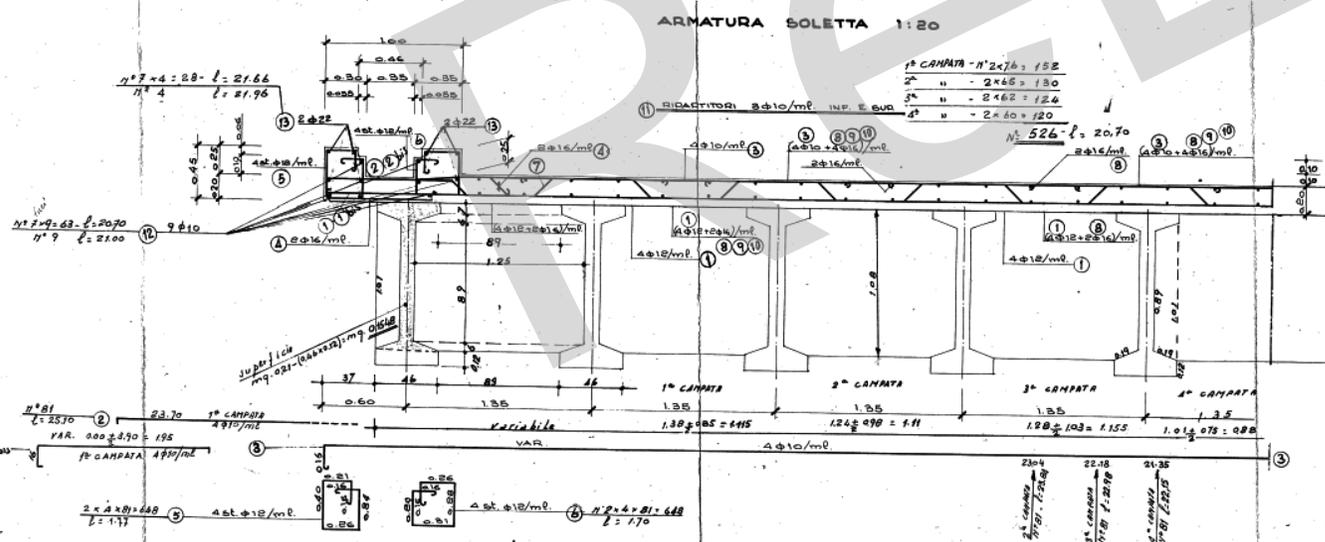
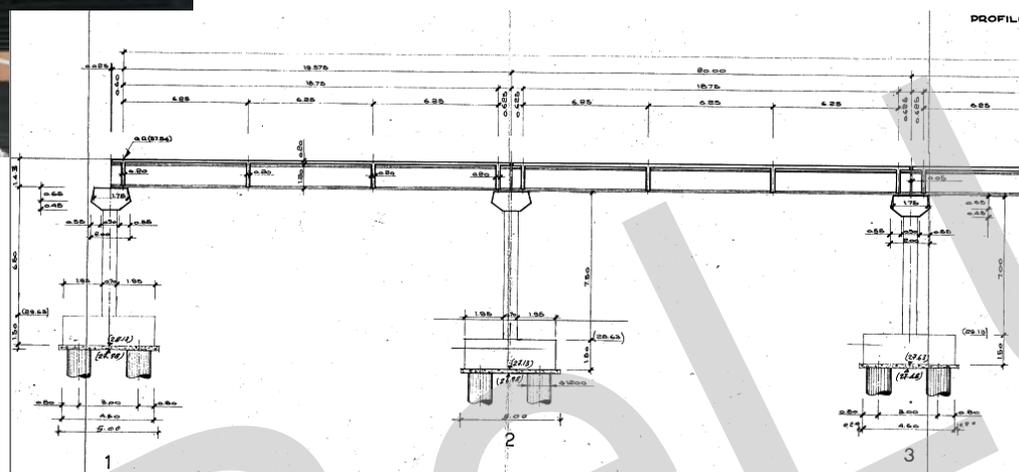


ARMATURA E PRECOMPRESSIONE





- Travi in c.a. prefabbricato **pre-teso** (TAS)
- Ponte a travata semplice di luce 20m (impalcato con 17 travi ad I)
- Anima spessore 10 cm
- Cavi ad andamento rettilineo
- Traversi gettati in opera non precompressi
- Soletta prefabbricata precompressa con getto di completamento
- Bulbo inferiore «basso»

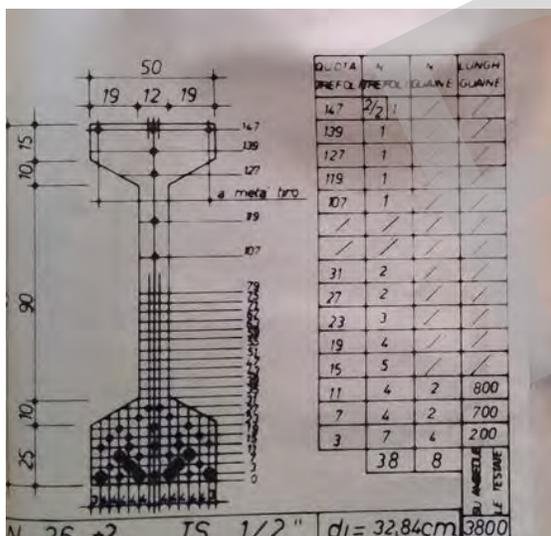


guida per i ponti esistenti
e per i ponti esistenti

Precompresso a cavi pre-tesi : 1985-1987



Traverso gettato in opera e collegato alle travi con barre diwydag e piastra. La piastra è nascosta del getto di ricoprimento del calcestruzzo. Si vede solo rimuovendo il calcestruzzo ma si può ipotizzare considerando che le travi sono prefabbricate e il traverso gettato in opera dopo.

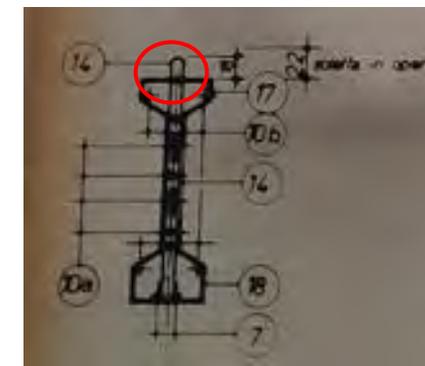


38 trefoli per una trave di 23 m calcestruzzo 450 kg/mq

Le travi hanno lunghezza diversa e il numero di trefoli cambia



La soletta è realizzata con predalles e getto di completamento quindi nelle travi ci sono staffe di collegamento

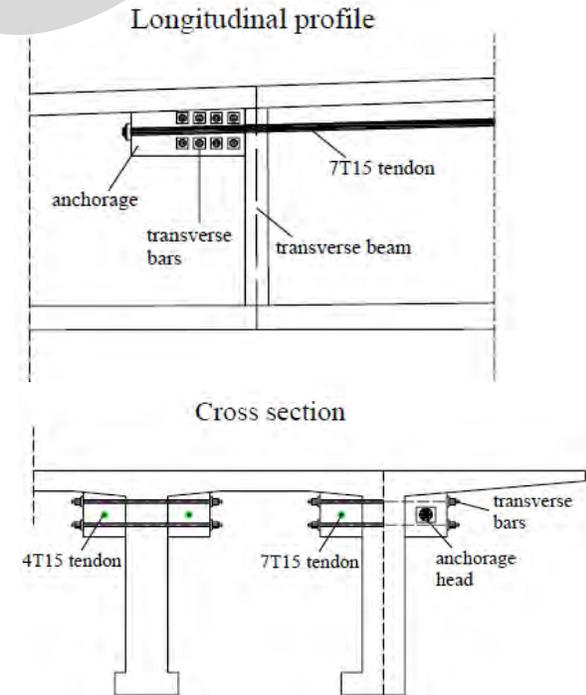
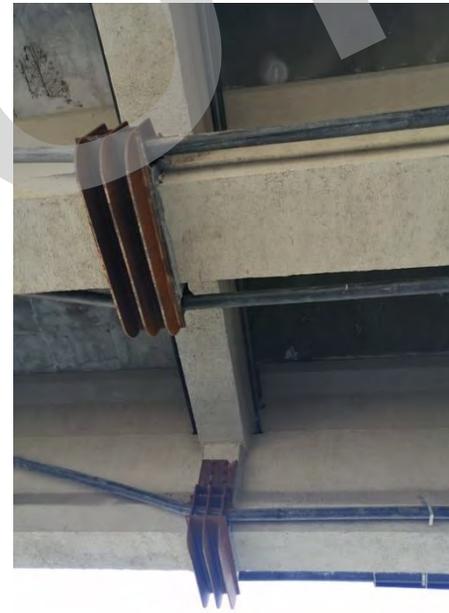


Si distinguono le predalles

Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

Lezione 1 - Le linee guida per i ponti esistenti

Molti ponti esistenti presentano un comportamento nello Stato limite di servizio e nello Stato limite ultimo che può essere considerato insoddisfacente rispetto alle attuali disposizioni normative, ma che in realtà sono carenze derivanti da metodi di calcolo obsoleti, età della struttura, degrado, corrosione diffusa o localizzata e incremento di carichi. In questi casi, semplici interventi di rinforzo tramite precompressione esterna che riducono le sollecitazioni di trazione in aree di calcestruzzo soggette a fessurazione, nonché la deformabilità dei ponti che hanno accumulato deformazioni nel tempo (ad es. per creep), spesso possono essere attuati con minimo impatto, ottenendo un miglioramento del comportamento strutturale o una variazione dello schema statico che migliori le prestazioni compressive.



Attenzione alla qualità del calcestruzzo esistente per l'efficacia della precompressione esterna

Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

Lezione 1 - Le linee guida per i ponti esistenti



Management of
post-tensioned bridges

State-of-the-art report

This document was downloaded by Maria Rosaria Picce, paper@unipr.it on 20/11/2014. For personal use only.

4. Inspection	40
4.1 General	40
4.1.1 Definition and objectives of inspection	40
4.1.2 Preparation of inspection	40
4.1.3 Inspection types	41
4.1.4 Qualification of inspection personnel	41
4.2 Points of attention in inspection	41
4.2.1 Cracking	41
4.2.2 Water management systems	45
4.2.3 Deflections	45
4.2.4 Concrete spalling	46
4.2.5 Construction joints	46
4.2.6 Bearings	46
4.2.7 External tendons	47

Documento internazionale in cui sono fornite indicazioni anche sulle ispezioni perché è una metodologia utilizzata in diversi paesi

3. Inquadramento dei difetti

Illustrazione dei “difetti” mettendo a fuoco la differenza tra danni indotti da sollecitazioni eccessive o azioni eccezionali e difetti dovuti a fenomeni di degrado cercando di dare alcune informazioni sul collegamento tra il difetto rilevato e la causa

RELUIS

1- Effetti delle sollecitazioni eccessive rispetto alla capacità

cause

- Carico da traffico complessivamente maggiori di quelli di progetto
- Carico da traffico con una configurazione più svantaggiosa come ad esempio assi con carichi concentrati elevati
- eventi eccezionali urti, terremoti
- Difetti di costruzione e carenze di progettazione**

sintomi

deformazioni elevate, fessurazione



2-Effetti del degrado dei materiali e dei componenti

cause

- Dilavamento e ristagno dell'acqua
- Invecchiamento degli appoggi elastomerici
- Corrosione delle armature
- Corrosione dei cavi/barre di precompressione
- Carenza di manutenzione programmata
- Difetti di costruzione e carenze di progettazione**

sintomi

macchie di umidità, distacco copriferro, fessurazione



Difetti di costruzione e carenze di progettazione

- Copriferri piccoli al di sopra della guaina o dei fili
- Calcestruzzo di modesta qualità
- Imperfezioni di getto
- Deformazione delle casseforme
- Difetti di iniezione di malta nella guaina
- Carenza di armatura



I DIFETTI

1- Effetti delle sollecitazioni eccessive rispetto alla capacità

2- Effetti del degrado dei materiali e dei componenti

Difetti di costruzione e carenze di progettazione sicuramente influenzano la capacità e durabilità del ponte



fessura per flessione



corrosione armature

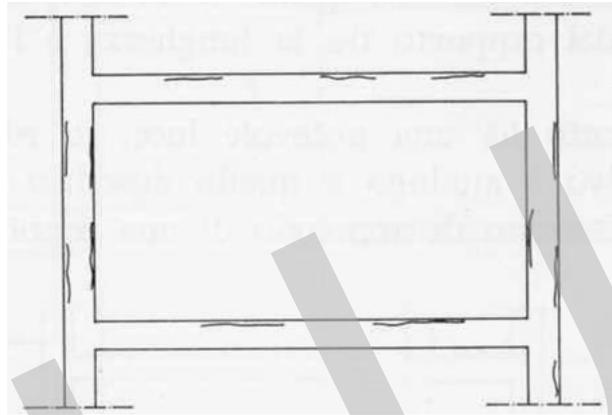
dal bollettino fib 110



degrado giunti tra i conci

La corrosione dell'armatura è la maggiore causa di degrado

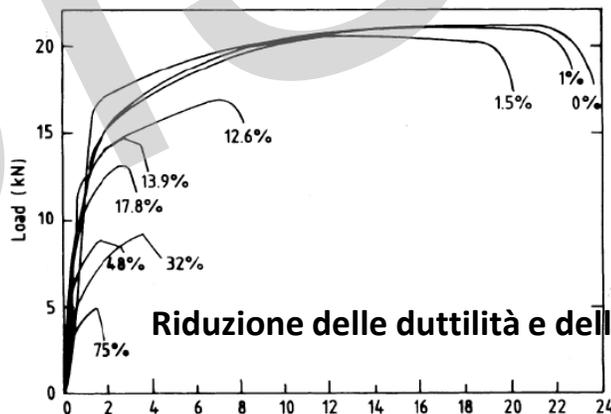
Fessurazione ed espulsione del copriferro con accelerazione del fenomeno



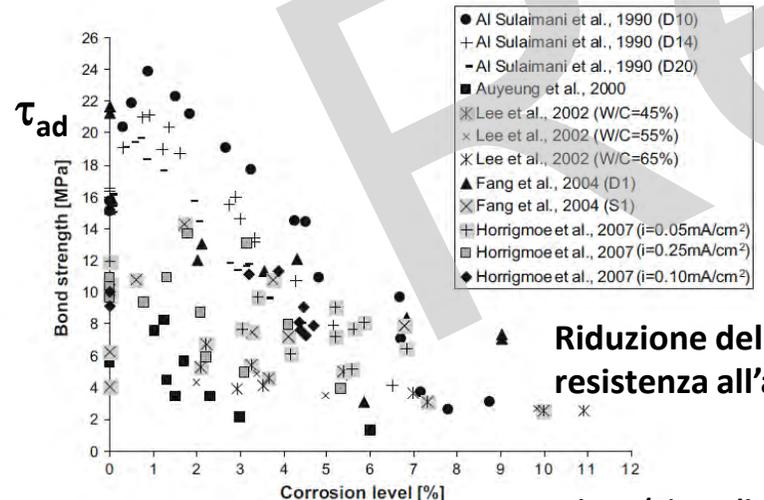
Fessure per corrosione



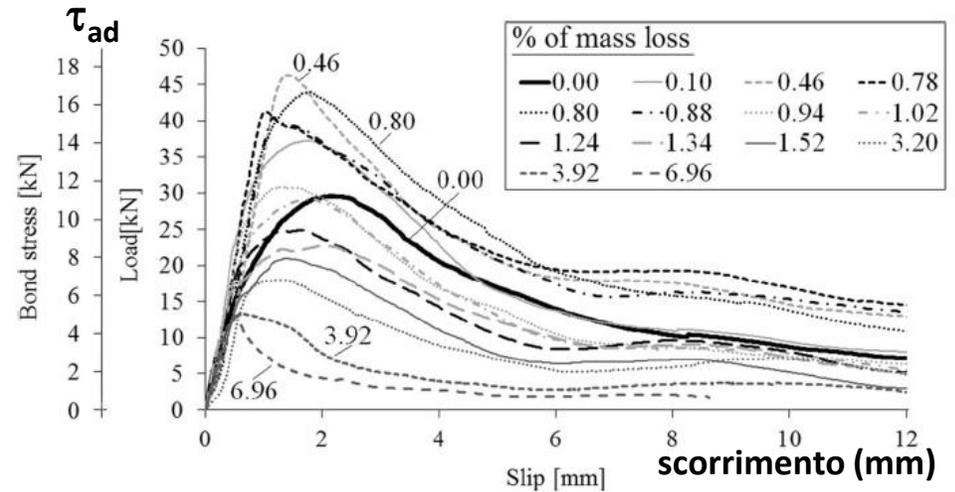
Riduzione delle sezione e quindi della resistenza



Riduzione delle duttilità e della resistenza



Riduzione della resistenza all'aderenza



applicazione delle linee guida 1 - Le linee guida

corrosione (% perdita di massa)

IL MODELLO DI TUOTTI PER COMPRENDERE IL LIVELLO DI DEGRADO DEGLI ELEMENTI COSTRUTTIVI INDOTTO DALLA CORROSIONE

PUNTO 1: OSSIDAZIONE ARMATURE

La carbonatazione riduce il PH del calcestruzzo che non protegge più l'acciaio

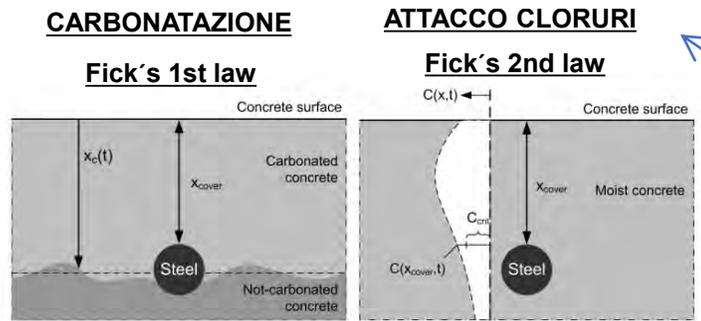
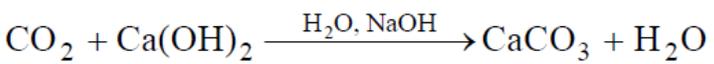
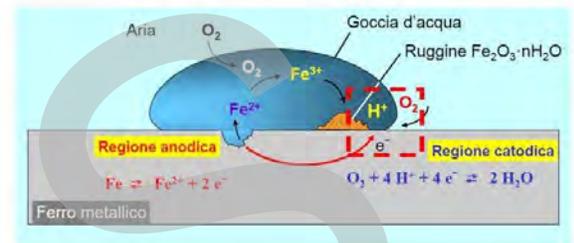
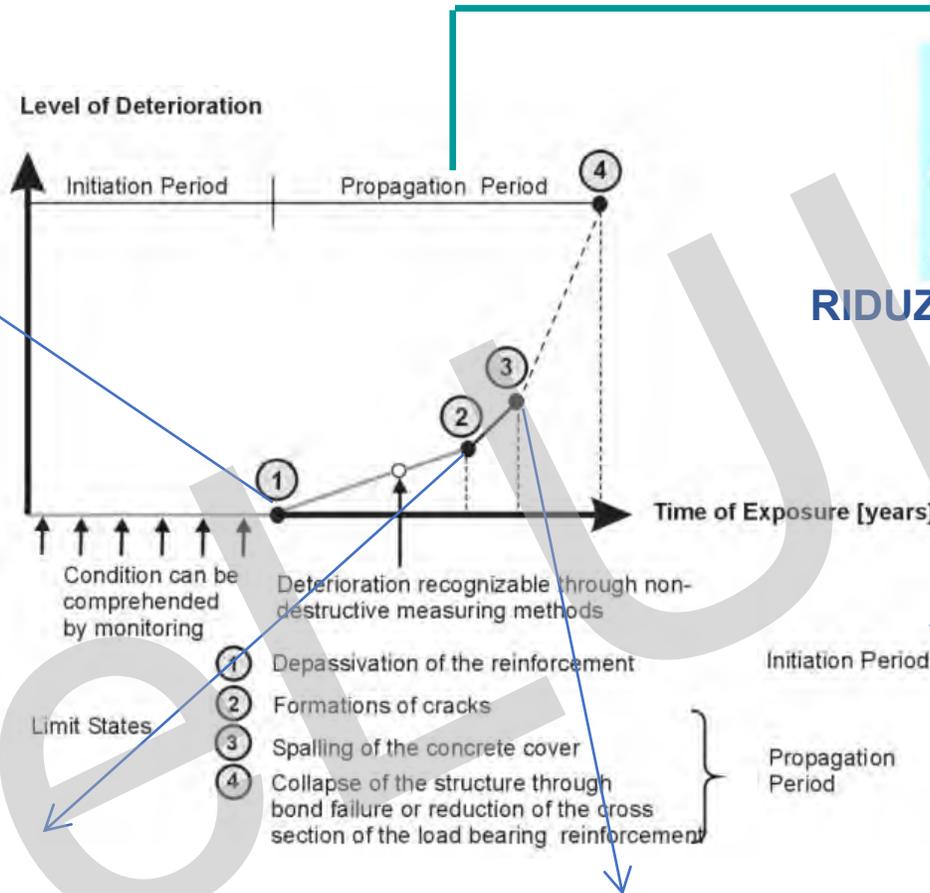
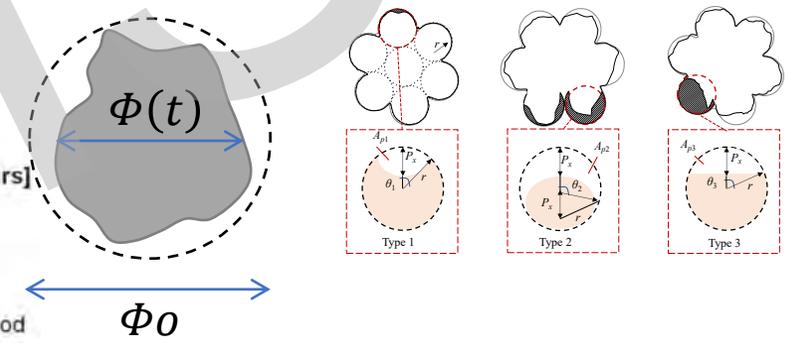


Figure 5-10: Limit states of depassivation due to carbonation (left) and chloride ingress (right) from fib Bulletin 34. Model Code for Service Life Design. 2006

Ex difetti correlati da linee guida:
 c.a./c.a.p._1: Macchie di umidità attiva
 c.a./c.a.p._2: Macchie di umidità passiva
 c.a./c.a.p._3: Cls dilavato/ammalorato ecc.



RIDUZIONE SEZIONE ARMATURE DA 1 A 4



Ex difetti correlati da linee guida:
 c.a./c.a.p._6: Armatura ossidata/corrosa
 c.a./c.a.p._16: Staffe scoperte/ossidate
 c.a.p._8: Fili aderenti in vista ossidati
 c.a.p._11: Arm. Scoperta / ossidata testate ecc.

PUNTO 2: FORMAZIONE FESSURE



Ex difetti correlati da linee guida:
 c.a./c.a.p._15: Lesioni in corrispondenza staffe
 c.a./c.a.p._18: Fessure longitudinali ecc.

PUNTO 3: SPALLING DEL COPRIFERRO



Ex difetti correlati da linee guida:
 c.a./c.a.p._5: Distacco del copriferro
 c.a./c.a.p._16: Staffe scoperte/ossidate
 c.a./c.a.p._18: Fessure longitudinali ecc.

NON CORROSO



PRIME FORMAZIONI DI PITS LOCALIZZATI



FORMAZIONI DI PITS LOCALIZZATI
FREQUENTI LUNGO LA LUNGHEZZA DEL
TREFOLO



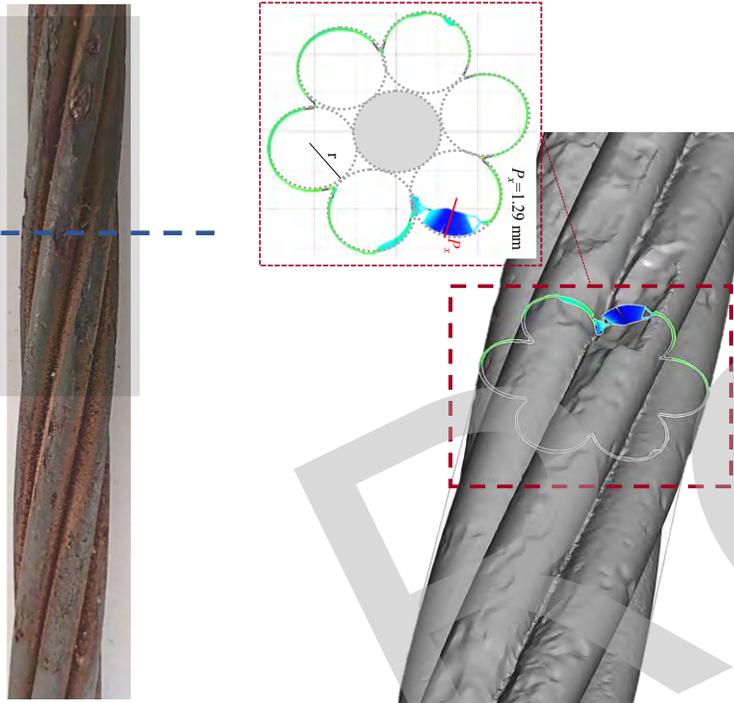
FORMAZIONI DI PITS LOCALIZZATI COSI'
FREQUENTI DA RENDERE UN EFFETTO DI
CORROSIONE QUASI UNIFORME



LIVELLO DI CORROSIONE MOLTO FORTE

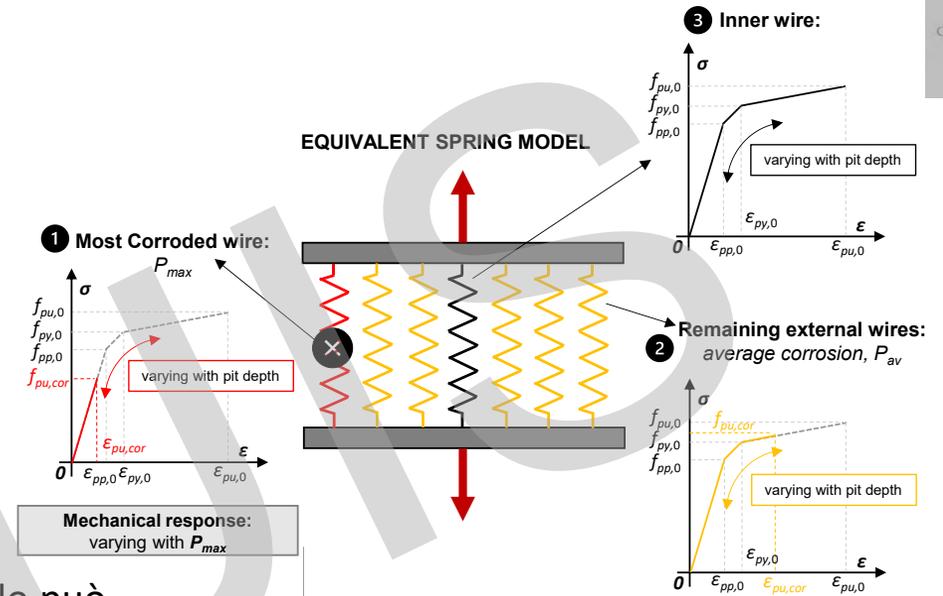


CORROSIONE LOCALIZZATA INDOTTA DA CLORURI

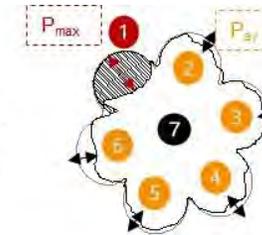


Franceschini L., Belletti B., Tondolo F., Sanchez Montero J. 2023.

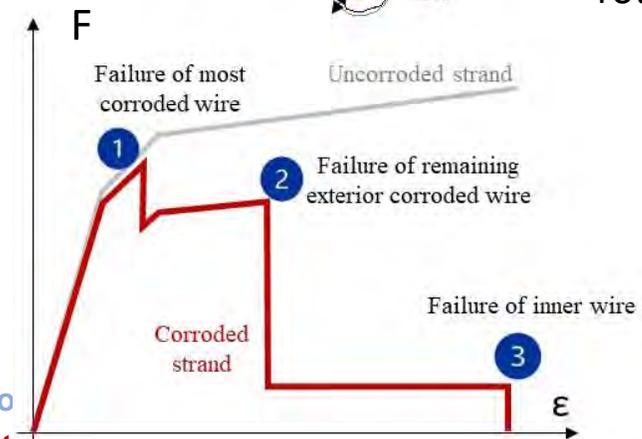
Il comportamento del trefolo può essere descritto come equivalente a quello di un sistema di tante molle in parallelo in cui ogni molla è rappresentata da un singolo filo



Corroded strand's stress-strain behaviour



La resistenza a trazione del trefolo dipende dalla sequenza di rotture dei vari fili



3. Inquadramento dei difetti

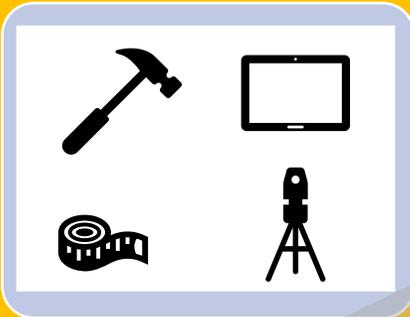
Il rilievo dei difetti nelle ispezioni
Tipologia di ispezione e frequenza

RELUIS

VISIVE

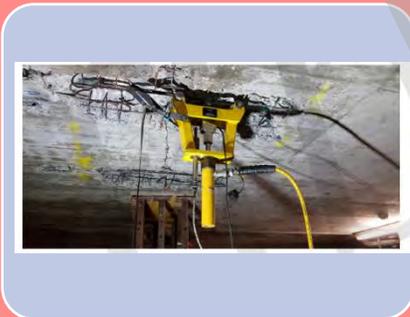
- Per attribuzione del livello di difettosità
- Documentate mediante i modelli di schede riportati nell'Allegato B

ORDINARIE

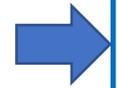


- Le ispezioni ordinarie sono documentate mediante i modelli di schede riportati nell'Allegato B
- Ove necessario si eseguono prove non distruttive e semidistruttive

STRAORDINARIE



- Documentate in appositi specifici Rapporti
- Hanno lo scopo di acquisire informazioni utili ad approfondire la conoscenza dei fenomeni di degrado e della condizione strutturale dell'opera quando le ispezioni ordinarie abbiano riscontrato criticità evidenti



ALCUNE OSSERVAZIONI RELATIVE ALLE ISPEZIONI ORDINARIE E STRAORDINARIE DELLE STRUTTURE PRECOMPRESSE SONO UTILI PER ILLUSTRARE LE ISPEZIONI VISIVE DI LIVELLO 1

ALCUNE OSSERVAZIONI RELATIVE ALLE ISPEZIONI ORDINARIE/STRAORDINARIE DELLE STRUTTURE PRECOMPRESSE A CAVI POST-TESE UTILI PER ISPEZIONI VISIVE DI LIVELLO 1

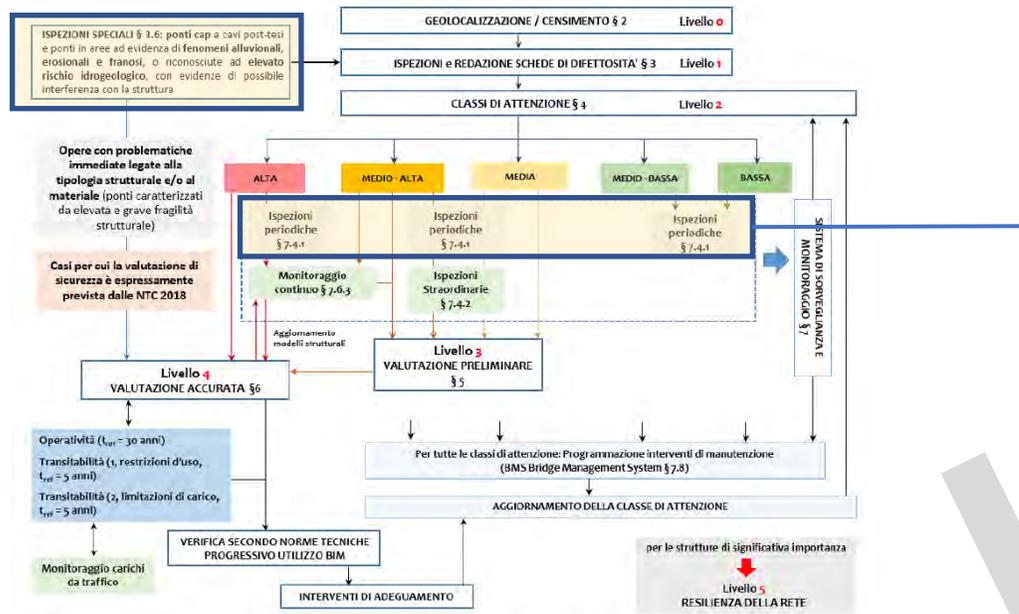


Figura 1.1 – Approccio multilivello e relazioni tra i livelli di analisi

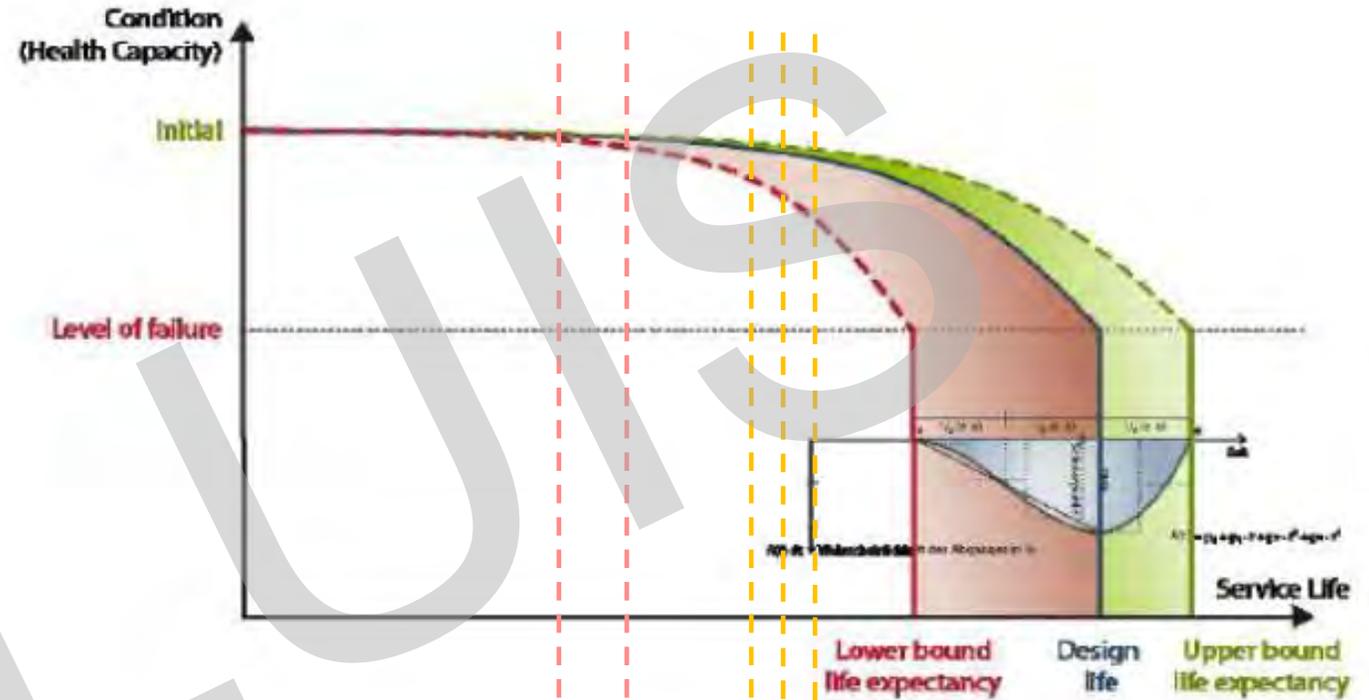


Tabella 7.1– Frequenza minima delle ispezioni ordinarie¹

CDA -	Bassa	Medio - Bassa	Media	Medio-Alta	Alta
Frequenza Opere "Tipo 1"	Biennale	18 mesi	Annuale	In funzione del monitoraggio o semestrale	In funzione del monitoraggio o semestrale
Frequenza Opere "Tipo 2"	Annuale	9 mesi	Semestrale	In funzione del monitoraggio o trimestrale	In funzione del monitoraggio trimestrale

Opere Tipo 1: già inserite in un sistema di sorveglianza conforme alla Circolare n° 6736/61/AI del 1967 (delle quali è quindi sufficientemente noto lo stato di conservazione e l'evoluzione attesa dei difetti)

Opere Tipo 2: sia nuove, sia già in esercizio da diversi anni, ma per le quali non sono state effettuate le ispezioni periodiche di cui alla Circolare sopra citata e che quindi non sia noto lo stato conservativo/manutentivo, il progredire dei difetti presenti (curva di degrado reale)

Le ispezioni visive sono finalizzate alla determinazione della classe di attenzione. L'attribuzione dei difetti mediante la procedura delle Linee Guida consente di determinare la Classe di Attenzione (CDA) e la periodicità delle ispezioni ordinarie

La rapidità di evoluzione del degrado non è costante nel tempo e pertanto in ragione della CDA dell'opera si attribuiscono frequenze diverse per le ispezioni ordinarie

ALCUNE OSSERVAZIONI RELATIVE ALLE ISPEZIONI ORDINARIE/STRAORDINARIE DELLE STRUTTURE PRECOMPRESSE A CAVI POST-TESTI UTILI PER ISPEZIONI VISIVE DI LIVELLO 1

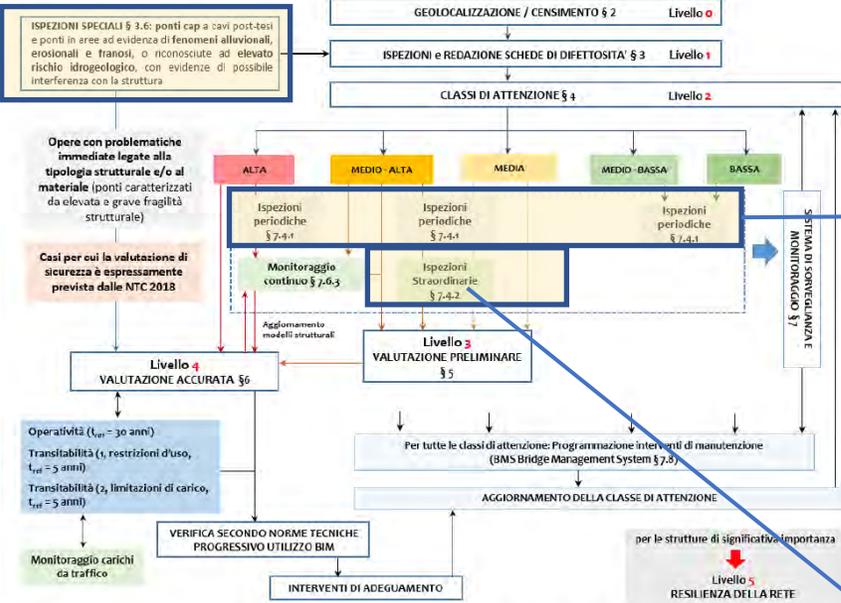


Figura 1.1 – Approccio multilivello e relazioni tra i livelli di analisi

Le ispezioni sono accompagnate, ove necessario, dall'esecuzione di prove non distruttive e semidistruttive.

Le ispezioni ordinarie sono documentate mediante i modelli di schede riportati nell'Allegato B (o equivalenti)

Nel corso delle ispezioni ordinarie è raccomandata l'esecuzione di semplici test non distruttivi quali, a titolo esemplificativo e non esaustivo: prove sclerometriche, misure di spessori di protezione, misure di umidità e pH (anche mediante applicazione di soluzione di fenolftaleina), misure di potenziale elettrico.

Le **ispezioni straordinarie**, che vanno eseguite a contatto diretto con le strutture, devono essere accompagnate da prove non distruttive fra cui, ad esempio e non esaustivamente, le seguenti:

- prelievo di campioni per prove meccaniche e chimico-fisiche,
- prove sclerometriche, sonreb (con carotaggi di calibrazione, come da documenti di riferimento) o equivalenti,
- prove di pull-out,
- prove ultrasoniche o georadar per rilevamento di vuoti e discontinuità,
- mappature di potenziale elettrico,
- sondaggi e ispezioni con endoscopio,
- prove magnetiche e/o georadar sui cavi di precompressione,
- misure diffuse di umidità e pH,
- Determinazione dello stato di tensione.

Le **ispezioni straordinarie** sono documentate in appositi specifici Rapporti; hanno lo scopo di acquisire informazioni utili ad approfondire la conoscenza dei fenomeni di degrado e della condizione strutturale dell'opera quando le ispezioni ordinarie abbiano riscontrato criticità evidenti, ad esempio di gravità 5, oppure nei casi in cui la Classe di Attenzione si è evoluta in senso negativo, le ispezioni straordinarie devono essere eseguite al più presto e comunque non oltre 60 giorni da quando ne venga resa nota la necessità.

In ogni caso, l'esecuzione di ispezioni straordinarie deve avvenire non oltre 5 anni dalla precedente ispezione per manufatti con Classi di Attenzione Bassa e Medio-Bassa e non oltre 2 anni negli altri casi.

ALCUNE OSSERVAZIONI RELATIVE ALLE ISPEZIONI ORDINARIE/STRAORDINARIE DELLE STRUTTURE PRECOMPRESSE A CAVI POST-TESI UTILI PER ISPEZIONI VISIVE DI LIVELLO 1



CASI CHE RICHIEDONO PARTICOLARE ATTENZIONE DURANTE LE ISPEZIONI (PUNTO 7.4.3)

7.4.3.1 STRUTTURE PRECOMPRESSE A CAVI POST-TESI

Le strutture precomprese a cavi post-tesi e iniettati, fra le quali, in particolare, quelle realizzate negli anni '60 e '70, possono essere soggette a pericolose situazioni di degrado che possono comportare corrosione dei cavi di precompressione e che, pertanto, possono influire negativamente sulla resistenza della struttura e provocare collassi improvvisi, anche in assenza di sovraccarico e/o di traffico. Tali situazioni possono essere in prevalenza causate da difetti nelle iniezioni dei cavi che, in presenza di stati di corrosione delle guaine o degli ancoraggi e/o infiltrazioni di acqua, possono costituire zone di innesco della corrosione.

Nel corso delle ispezioni periodiche deve essere posta particolare attenzione alla presenza di difetti catalogati (Allegato C) sub c.a.p._4, c.a.p._5, c.a.p._6, c.a.p._7 e c.a.p._10. Il difetto c.a.p._9 corrisponde ad una situazione in cui il danneggiamento dei fili o dei cavi di precompressione risulta evidente anche ad un esame visivo.



Ne consegue che anche durante le ispezioni visive, finalizzate all'attribuzione del livello di difettosità per la definizione della classe di attenzione bisogna porre particolare attenzione alla presenza di questi difetti nelle strutture precomprese a cavi post-tesi.

ALCUNE OSSERVAZIONI RELATIVE ALLE ISPEZIONI ORDINARIE/STRAORDINARIE DELLE STRUTTURE PRECOMPRESSE A CAVI POST-TESE UTILI PER ISPEZIONI VISIVE DI LIVELLO 1

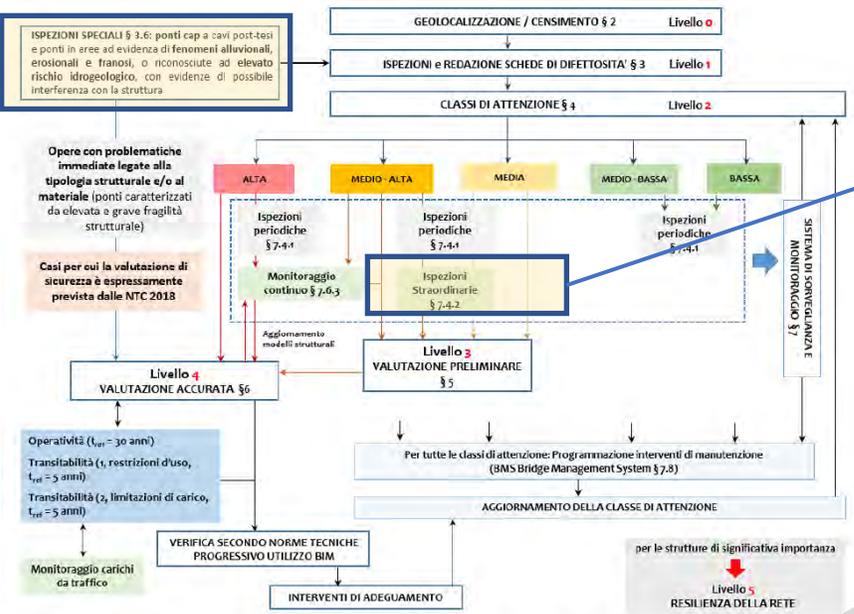


Figura 1.1 – Approccio multilivello e relazioni tra i livelli di analisi

Per le **ispezioni straordinarie** delle strutture precomprese a cavi post-tesi è possibile fare riferimento a quanto descritto per le ispezioni speciali di Livello 1, ed alla relativa scheda di cui all'Allegato D. In ogni caso, si raccomandano almeno le seguenti attività:

Individuazione del tracciato dei cavi e localizzazione di eventuali difetti

Il **reperimento e l'analisi del materiale di progetto originario** è indispensabile per avere un'accurata conoscenza delle caratteristiche degli elementi in c.a.p. e, in particolare, della disposizione delle armature all'interno di essi.

Qualora tale materiale non sia stato reperito durante le operazioni di **Censimento al Livello 0** o non sia esaustivo, o anche solo per validarne l'affidabilità, occorre eseguire indagini non distruttive, che, oltre a consentire l'individuazione delle armature, permettono di identificare eventuali discontinuità, vuoti o fessure all'interno degli elementi indagati.

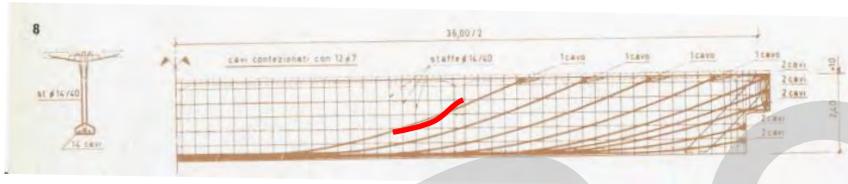


Il ruolo fondamentale della conoscenza del manufatto inizia in fase di Censimento (Livello 0). Investire tempo e risorse nella ricerca documentale dei dati permette di ridurre l'incertezza sul ruolo svolto dalla difettosità, ridurre i costi delle indagini conoscitive richieste nelle ispezioni straordinarie.

ALCUNE OSSERVAZIONI RELATIVE ALLE ISPEZIONI ORDINARIE/STRAORDINARIE DELLE STRUTTURE PRECOMPRESSE A CAVI POST-TESI UTILI PER ISPEZIONI VISIVE DI LIVELLO 1

Scheda Ispezione Ponti di Livello 1

N°	Descrizione difetto	Visto	G	Estensione K1			Intensità K2			N° foto	PS	NA	NR	NP	Note
				0,2	0,5	1	0,2	0,5	1						
c.a./c.a.p._1	Macchie di umidità passiva	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
c.a./c.a.p._2	Macchie di umidità attiva	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Dif. Gen_1	Tracce di scolo	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
c.a./c.a.p._3	Cis dilavato / ammalorato	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
c.a./c.a.p._21	Cis dilavato / ammalorato Testate	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Dif. Gen_2	Ristagni d'acqua	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Dif.Gen_5	Ristagni d'acqua nei cassoni	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
c.a./c.a.p._4	Vespai	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
c.a./c.a.p._5	Distacco del copriferro	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
c.a./c.a.p._6	Armatura ossidata / corrosa	<input type="checkbox"/>	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		



Per livelli di difettosità alto e medio-alto devono intendersi quei difetti che possono pregiudicare la sicurezza o la funzionalità di una campata o dell'opera. La compromissione della statica dell'opera si segnala nelle schede di rilievo all'Allegato B tramite la casella PS - "Pregiudica la statica"



In alcuni casi la mancanza di documentazione tecnica (relativa a progetto, esecuzione, successivi interventi, ecc.) rende più incerto il giudizio. Da approfondire la ricerca documentaria e indagini conoscitive, rilievo in situ, ecc.

L'ossidazione dei cavi da precompressione può pregiudicare la statica della struttura

L'effetto dipende dall'estensione del difetto: numero di cavi interessati rispetto al totale e dalla lunghezza del cavo interessato

Dipende anche dalla zona di trave interessata (zona di massima sollecitazione a flessione o taglio)

Nel caso della precompressione oltre all'osservazione dei fenomeni di danno locale dovuto alla corrosione è importante osservare anche la configurazione deformata globale della struttura.

La perdita di precompressione causa un incremento della deformata e potrebbe portare anche alla fessurazione per flessione o taglio

ALCUNE OSSERVAZIONI RELATIVE ALLE ISPEZIONI ORDINARIE/STRAORDINARIE DELLE STRUTTURE PRECOMPRESSE A CAVI POST-TESE UTILI PER ISPEZIONI VISIVE DI LIVELLO 1



3.6 ISPEZIONI SPECIALI

Nel caso di ponti in calcestruzzo armato precompresso a cavi post-tesi resi aderenti, nel seguito indicati come ponti in c.a.p. a cavi post-tesi, e ponti in aree ad evidenza di fenomeni alluvionali, erosionali e franosi, o riconosciute ad elevato rischio idrogeologico, con evidenze di possibile interferenza con la struttura, occorre eseguire delle ispezioni speciali atte a verificare la necessità di procedere con l'esecuzione diretta di valutazioni approfondite e di dettaglio di Livello 4. Nella pianificazione delle ispezioni speciali, priorità deve essere data ai ponti in c.a.p. a cavi post-tesi la cui costruzione risale agli anni '60/'70 e comunque a quelli per cui si rileva un avanzato e rilevante stato di degrado.



da 7.4.3.1 Strutture precomprese a cavi post-tesi

- Individuazione del tracciato dei cavi e localizzazione di eventuali difetti

Il reperimento e l'analisi del materiale di progetto originario è indispensabile per avere un'accurata conoscenza delle caratteristiche degli elementi in c.a.p. e, in particolare, della disposizione delle armature all'interno di essi. Qualora tale materiale non sia stato reperito durante le operazioni di Censimento al Livello 0 o non sia esaustivo, o anche solo per validarne l'affidabilità, occorre eseguire indagini non distruttive, quali indagini *pacometriche*, indagini *Georadar*, *tomografie ultrasoniche* o tecniche di *Impact-Echo*, che, oltre a consentire l'individuazione delle armature, permettono di identificare eventuali discontinuità, vuoti o fessure all'interno degli elementi indagati. Al medesimo scopo possono risultare di grande utilità i metodi magnetici, quali il metodo di dispersione del flusso magnetico (*MFL - Magnetic Flux Leakage*) e metodi elettrochimici, quali la *misura del potenziale di corrosione* che consente di stimare la velocità di corrosione delle armature.

- Esecuzione di una campagna di indagini per la valutazione del grado di difettosità degli elementi

I risultati delle indagini non distruttive, sopra citate, forniscono utili informazioni riguardo la localizzazione di eventuali difetti o discontinuità, sulla base delle quali è necessario redigere un opportuno e razionale piano di indagini che consenta di approfondire, laddove necessario, la conoscenza dello stato di conservazione degli elementi mediante tecniche di indagine dirette e maggiormente invasive.

Tenuto conto che la difettosità più grave e ricorrente per i ponti in c.a.p. a cavi post-tesi è legata alla possibile presenza di vuoti all'interno delle guaine di alloggiamento dei cavi, che può favorire la raccolta ed il ristagno d'acqua responsabili dell'innescio di pericolosi fenomeni corrosivi, risulta indispensabile procedere con *indagini endoscopiche* e *prove vacuometriche*, per verificare la presenza della malta di iniezione e di eventuali fenomeni ossidativi dei cavi e per quantificare il volume dei vuoti, ove presenti. Ove necessario, è possibile procedere a saggi localmente distruttivi, con rimozione del calcestruzzo e della guaina ed esame dello stato dei fili (conteggio dei fili interrotti e valutazione della riduzione di sezione e dello stato di tensione negli altri), nonché a prelievo di campioni del materiale di iniezione su cui eseguire prove chimiche per determinarne composizione e presenza di umidità e cloruri. I saggi devono essere condotti nelle sezioni critiche a momento e taglio e nelle zone ove si sono manifestati i difetti tipici. Si suggerisce, inoltre, di indagare mediante sondaggi diretti con asportazione della malta di protezione le testate di ancoraggio dei cavi, in modo da valutare visivamente e direttamente lo stato di conservazione dei vani di ancoraggio e dei cavi di acciaio.

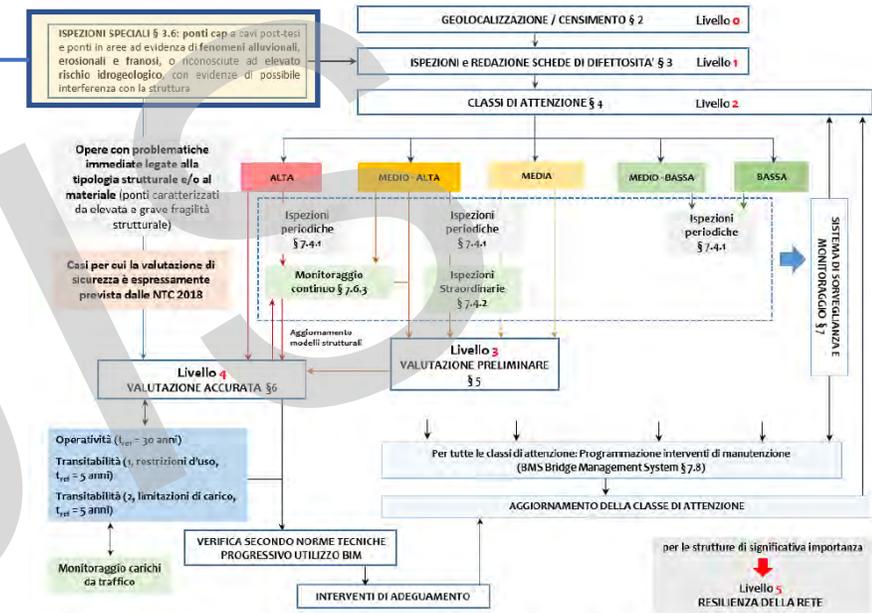
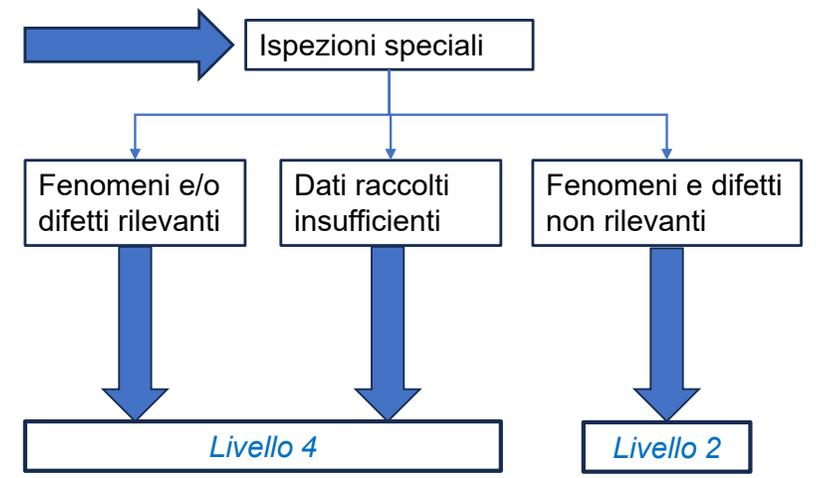


Figura 1.1 - Approccio multilivello e relazioni tra i livelli di analisi



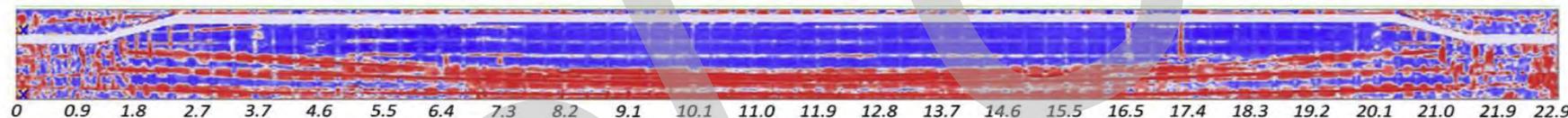
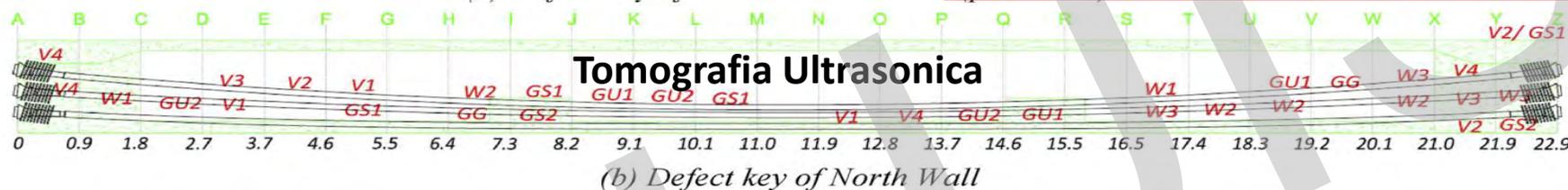
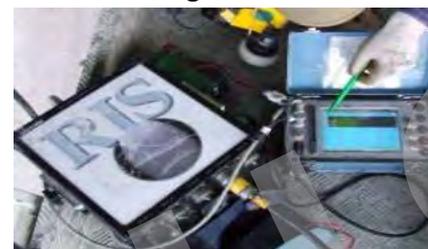
TECNICHE INNOVATIVE DI DIAGNOSTICA



Ground Penetrating Radar

(a) StructureScan Mini HR GPR unit

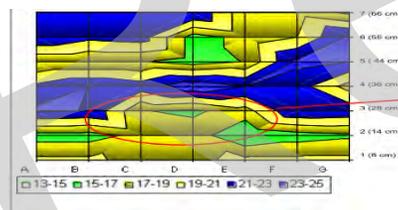
Geo-radar (GPR): basata sul meccanismo di propagazione e riflessione di onde elettromagnetiche



RIMT (Reflectometric Impulse Measurement Technology)

Eco Impatto: anche difetti della malta

Eco da Impatto: analisi della propagazione di un'onda elastica generata dall'impatto di una sfera d'acciaio

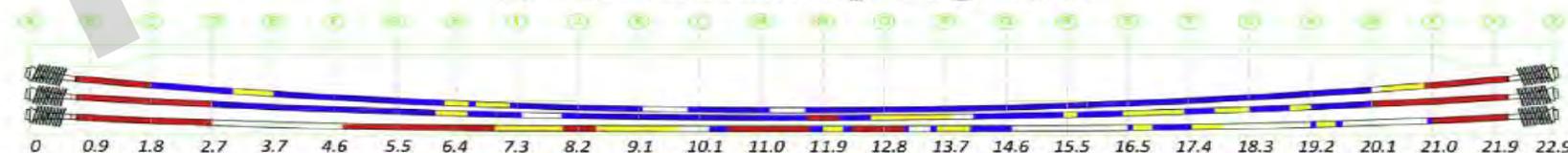


Diffrattometro a raggi X al fine di quantificare lo stato tensionale dell'armatura di precompressione

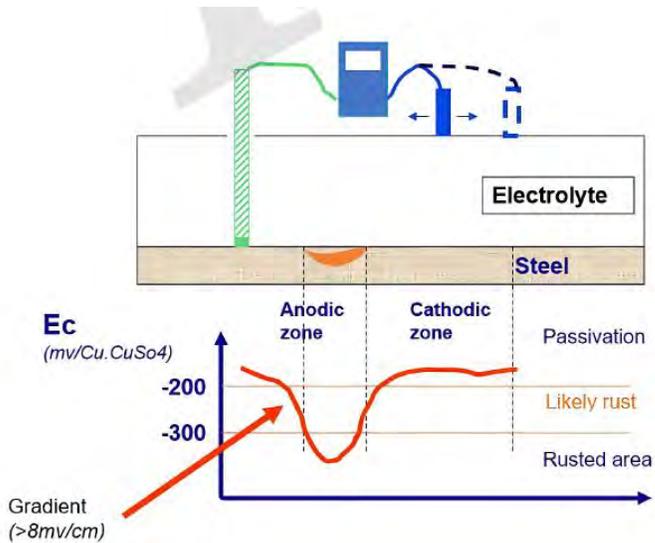


(b) IE scanner and DAQ PC

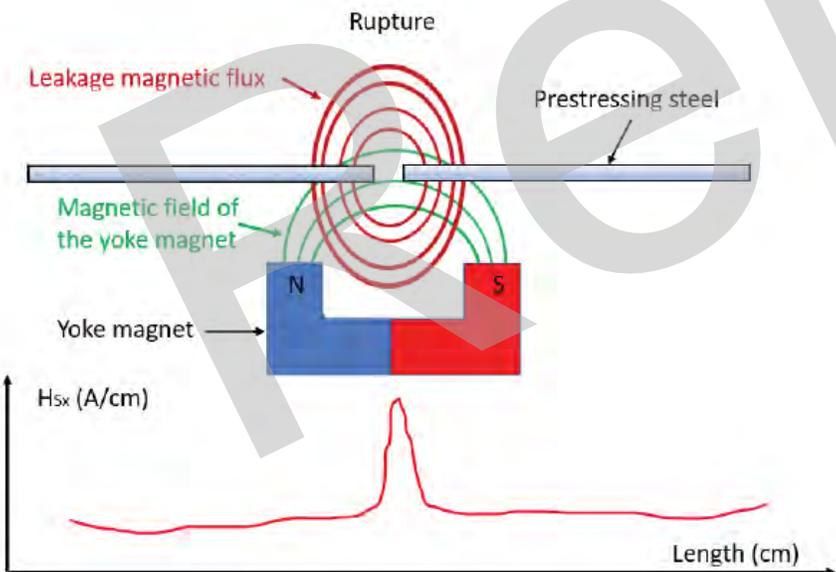
Emissioni acustiche



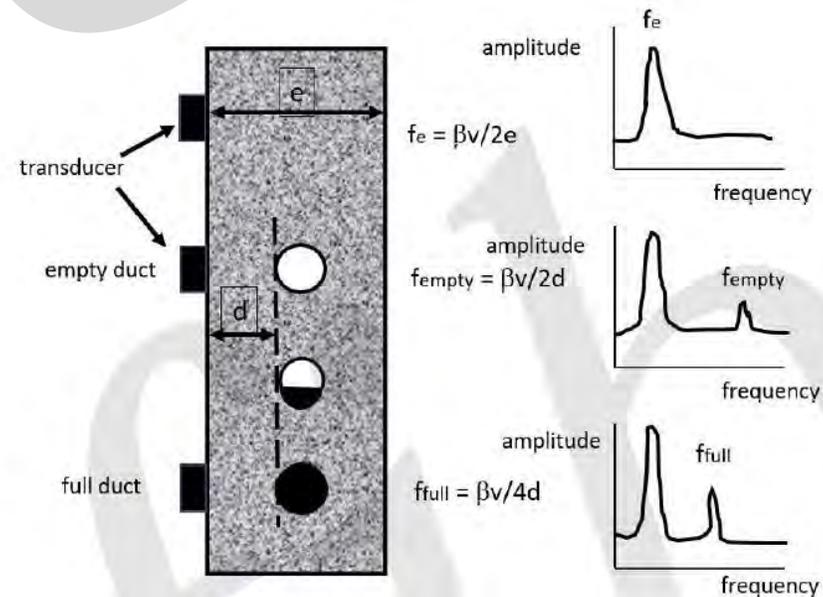
Note: White = Normal web thickness (tendon is not detected), Blue = Intact (completely filled with grout), Yellow = Partial void (partially filled with grout), Red = Full void (poorest grout condition)



Interruzione del cavo: perdita del campo magnetico



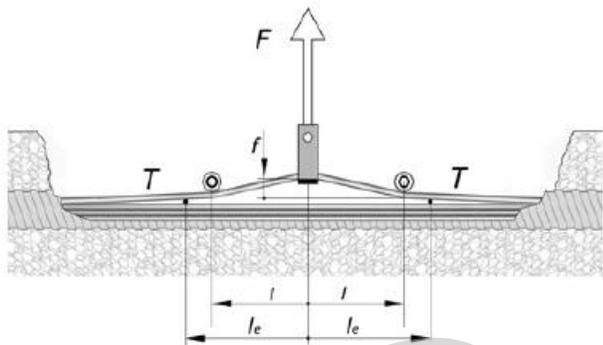
Eco impatto



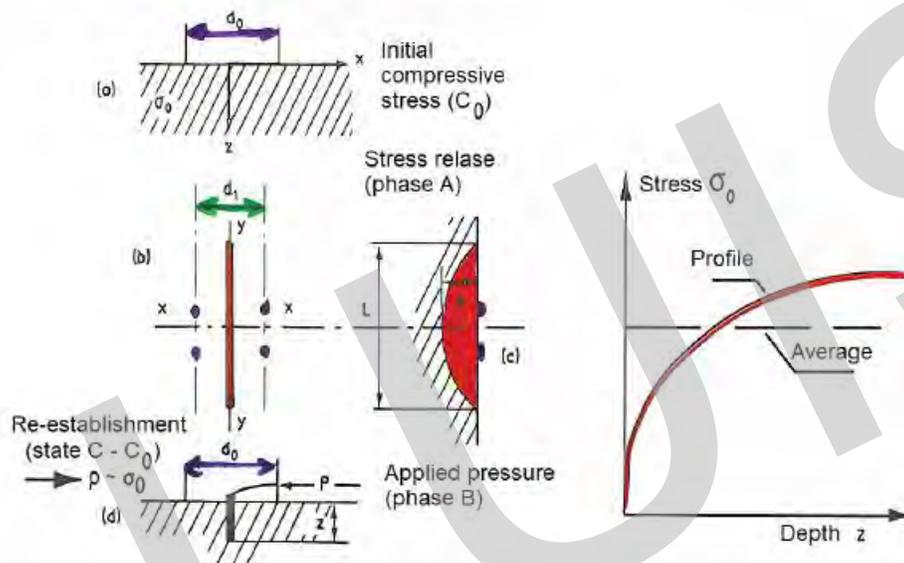
le linee gu

Prova della balestra

Si calibra una relazione tra la forza necessari per deformare il cavo elasticamente e lo sforzo normale di precompressione



Prove di rilascio nel calcestruzzo

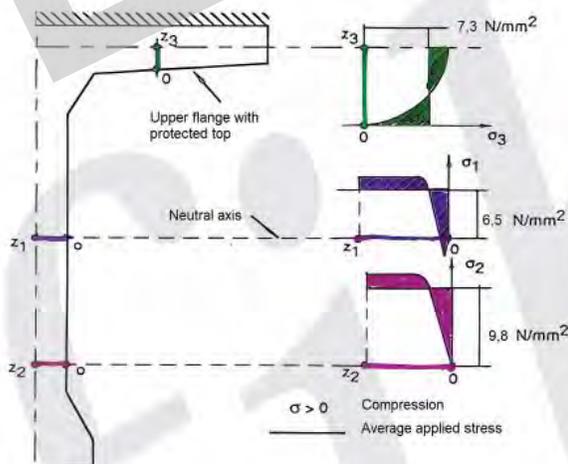


Prove di rilascio nel cavo



si applicano i sensori per misurare deformazione e poi si taglia il cavo

con la tensione di deformazione si calcola la tensione presente nel cavo



ELEMENTI IN CAP – DEGRADO E PATOLOGIE

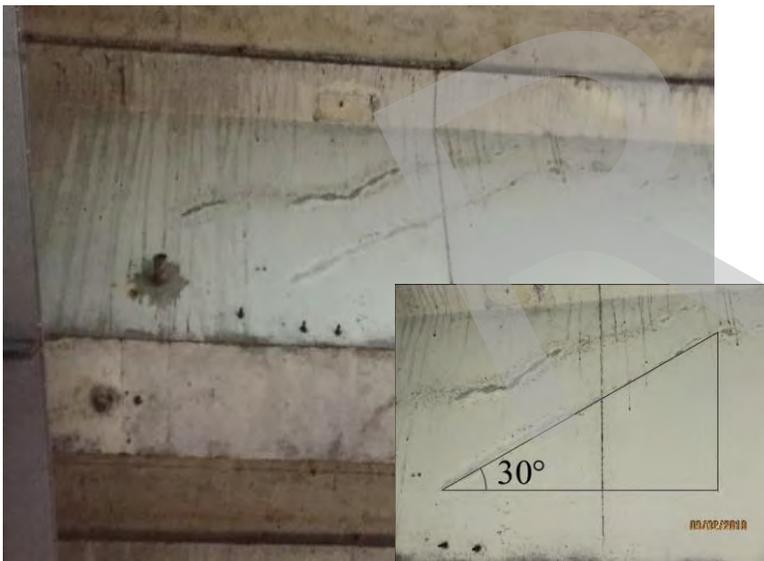
Lesioni su anima lungo i cavi



Cls dilavato/ammalorato testate



Testate di ancoraggio non sigillate



Modul

istenti

ELEMENTI IN CAP – DEGRADO E PATOLOGIE

Distacco tamponi testate



Armatura scoperta/ossidata testate



Fuoriuscita barre di ancoraggio



Lesioni lungo suola del bulbo



Guaine in vista



Guaine degradate e fili ossidati



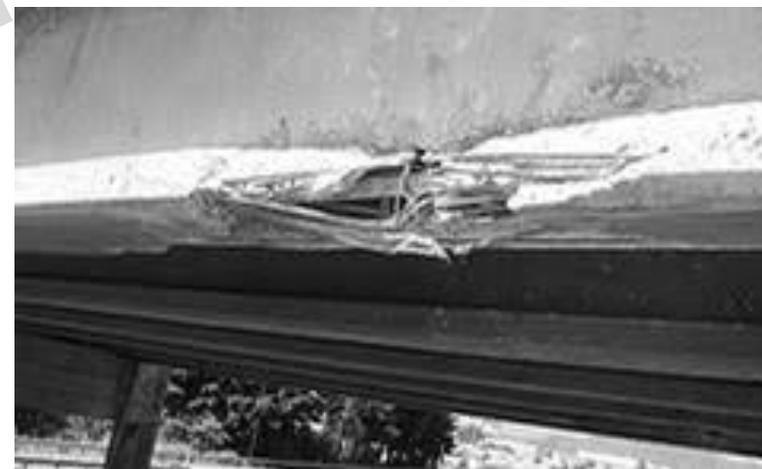
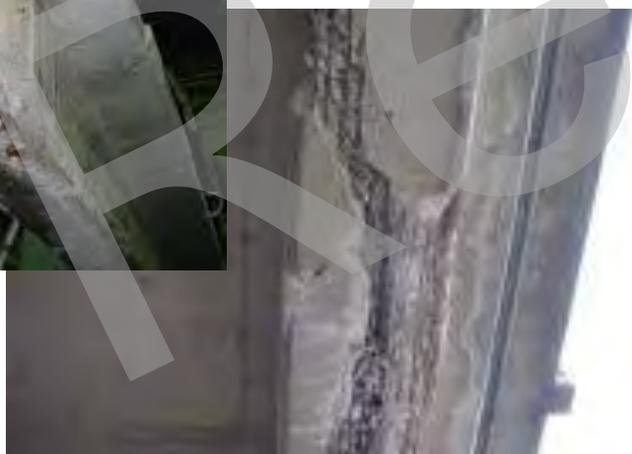
Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

Lezione 1 - Le linee guida per i ponti esistenti

Fili aderenti in vista



Riduzione armatura da precompressione



Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

Le linee guida per i ponti esistenti - Tipologie strutturali e analisi delle principali criticità

- L1a - Introduzione alle linee guida
- L1b - Ponti in cemento armato
- L1c - Ponti in cemento armato precompresso
- L1d - Ponti in muratura**
- L2a - Ponti in acciaio e composti acciaio-calcestruzzo
- L2b - Pile e spalle
- L2c - Selle Gerber
- L2d - Dispositivi di appoggio
- L2e - Introduzione alle schede difettologiche

La valutazione della classe di attenzione strutturale-fondazionale - scenari di casi studio. Ispezioni speciali e indagini in situ

- L3a - Ponti in cemento armato
- L3b - Ponti in cemento armato precompresso
- L3c - Ponti ad arco in muratura
- L4a - Ponti in acciaio e ponti composti acciaio-calcestruzzo
- L4b - Ispezioni speciali e indagini in situ

Il monitoraggio nella sicurezza delle infrastrutture e la digitalizzazione

- L5a - Applicazione di sistemi di monitoraggio
- L5b - Gestione delle informazioni e modelli informativi digitali

Esercitazione

- L6 - Esempi di compilazione in ambiente virtuale di schede di ispezione

Ponti ad arco in muratura

Alcuni esempi



Alcántarabridge, Spagna (103-106 d.C)



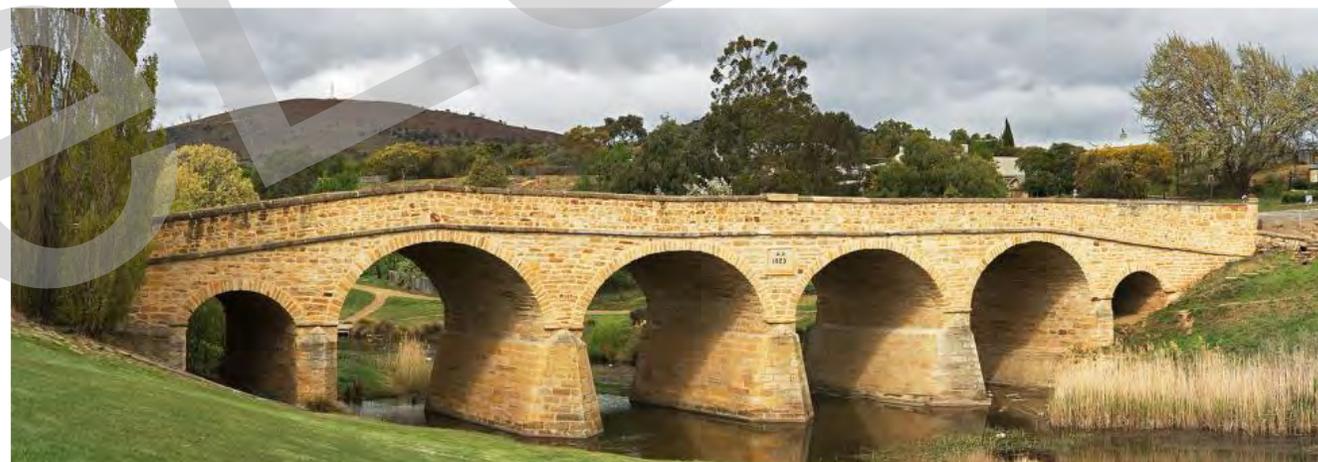
San Gregorio Barbarigo, Padova, Italia (1489)



Ponte Vecchio, Firenze, Italia (1345)



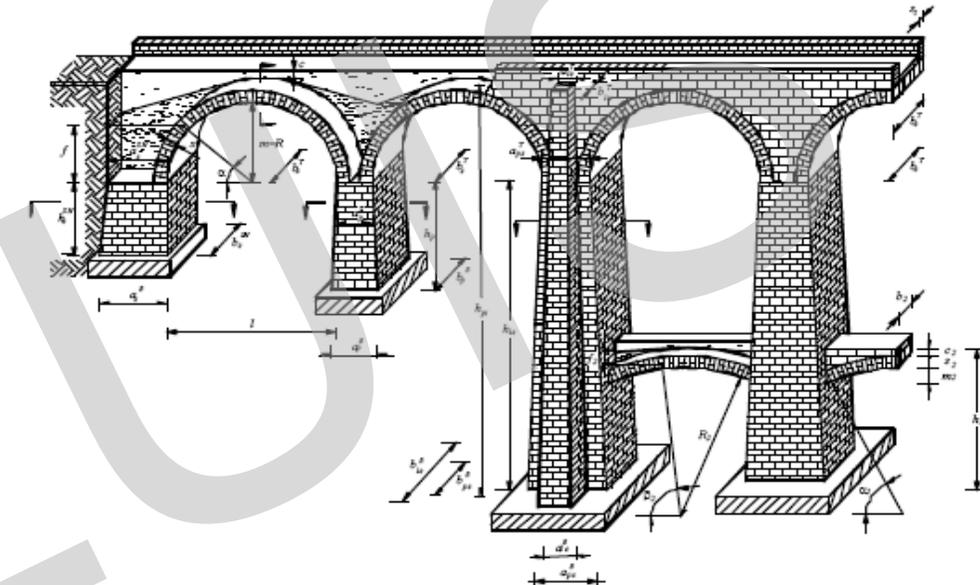
Ponte a doppio arco in pietra, Japan



Richmond Bridge, il più antico ponte in uso in Australia (1825)

Classe di vulnerabilità in funzione di schema statico, luce e materiale

Schema statico	Materiale	$L \leq 5$ m	$5 \text{ m} < L < 15$ m	$15 \text{ m} \leq L < 25$ m	$L \geq 25$ m
Travate appoggiate	C.a.	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIO-ALTA	ALTA
	C.a.p.	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIA	MEDIO-ALTA
	Acciaio	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIO-ALTA
	Metallo (Ponti storici)	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIO-ALTA	ALTA
	Legno	MEDIA	MEDIO-ALTA	ALTA	ALTA
	Misto*	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIO-ALTA	ALTA
Travate continue / Telaio	C.a.	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIO-ALTA
	C.a.p.	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIA
	Acciaio	BASSA	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA
	Metallo (Ponti storici)	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIO-ALTA
	Misto*	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIO-ALTA
Arco massiccio	Muratura	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA
	C.a.	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIA
Arco sottile	C.a.	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIA	MEDIO-ALTA

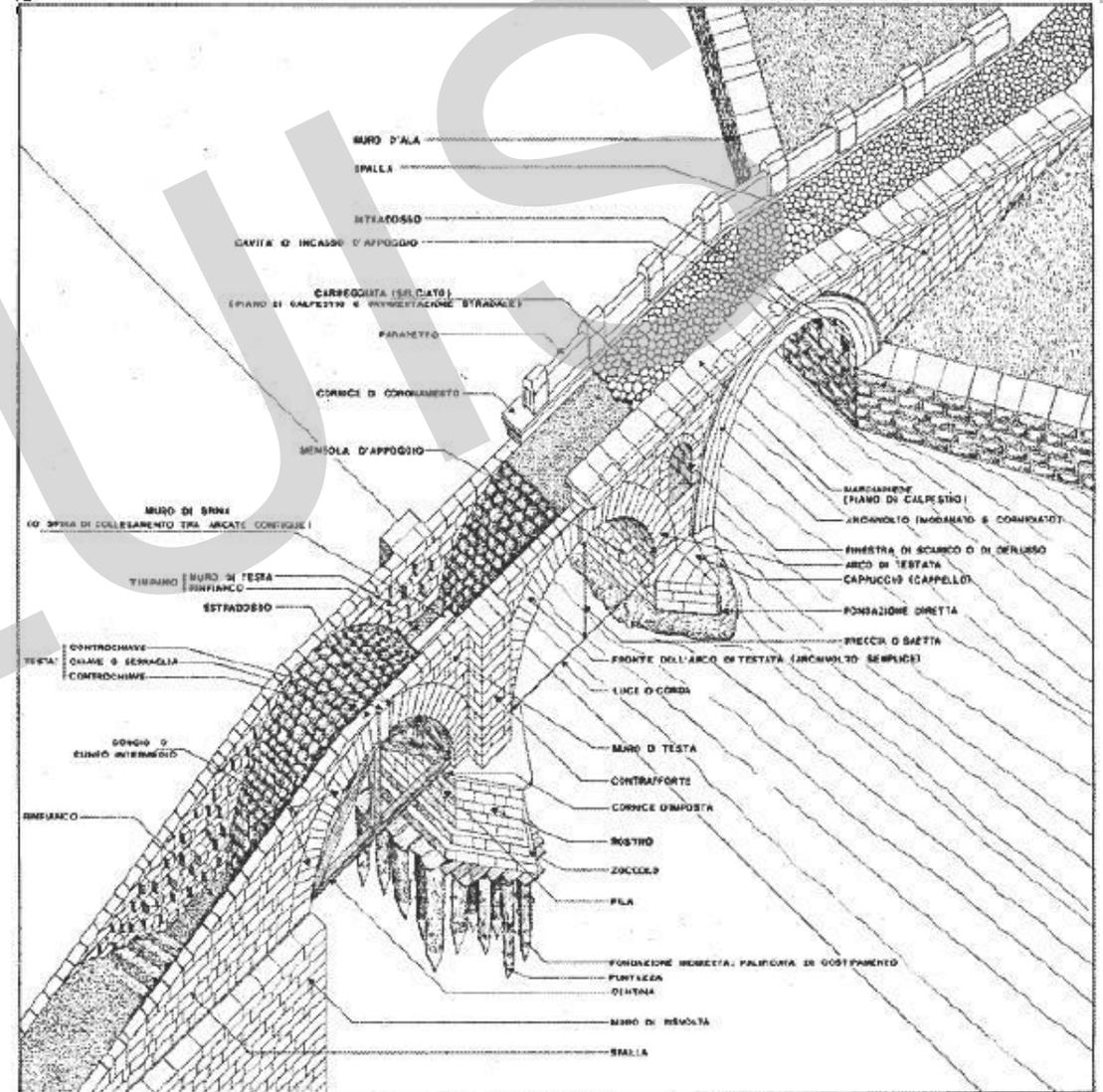
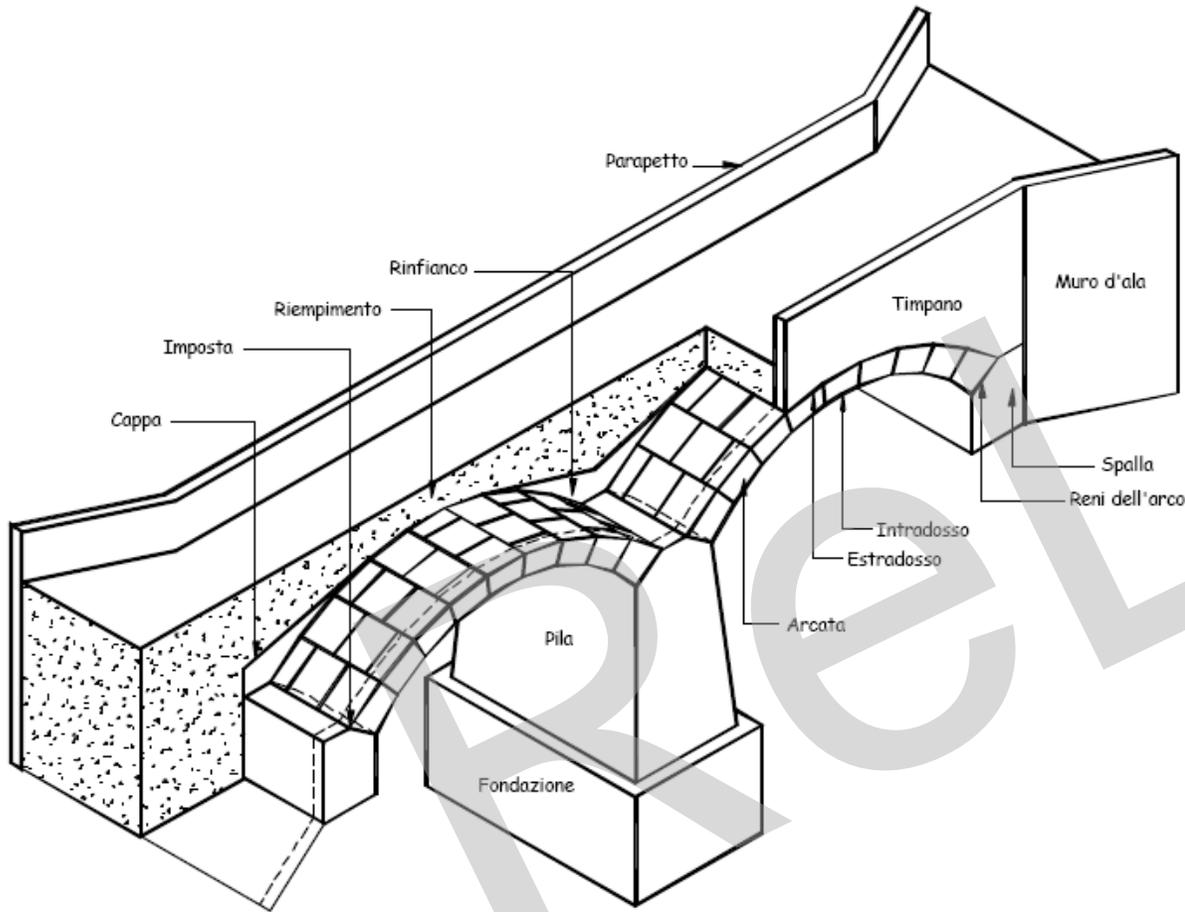


Tipologia di viadotto a due ordini di arcate (arcate a tutto sesto).

Schema statico	Materiale	$L \leq 5$ m	$5 \text{ m} < L < 15$ m	$15 \text{ m} \leq L < 25$ m	$L \geq 25$ m
Travate Gerber / Ponti a stampella con travi tampono	Arco massiccio	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA
	C.a.	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIA
Soletta appoggiata	C.a.	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIA
Soletta incastrata	C.a.	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIA

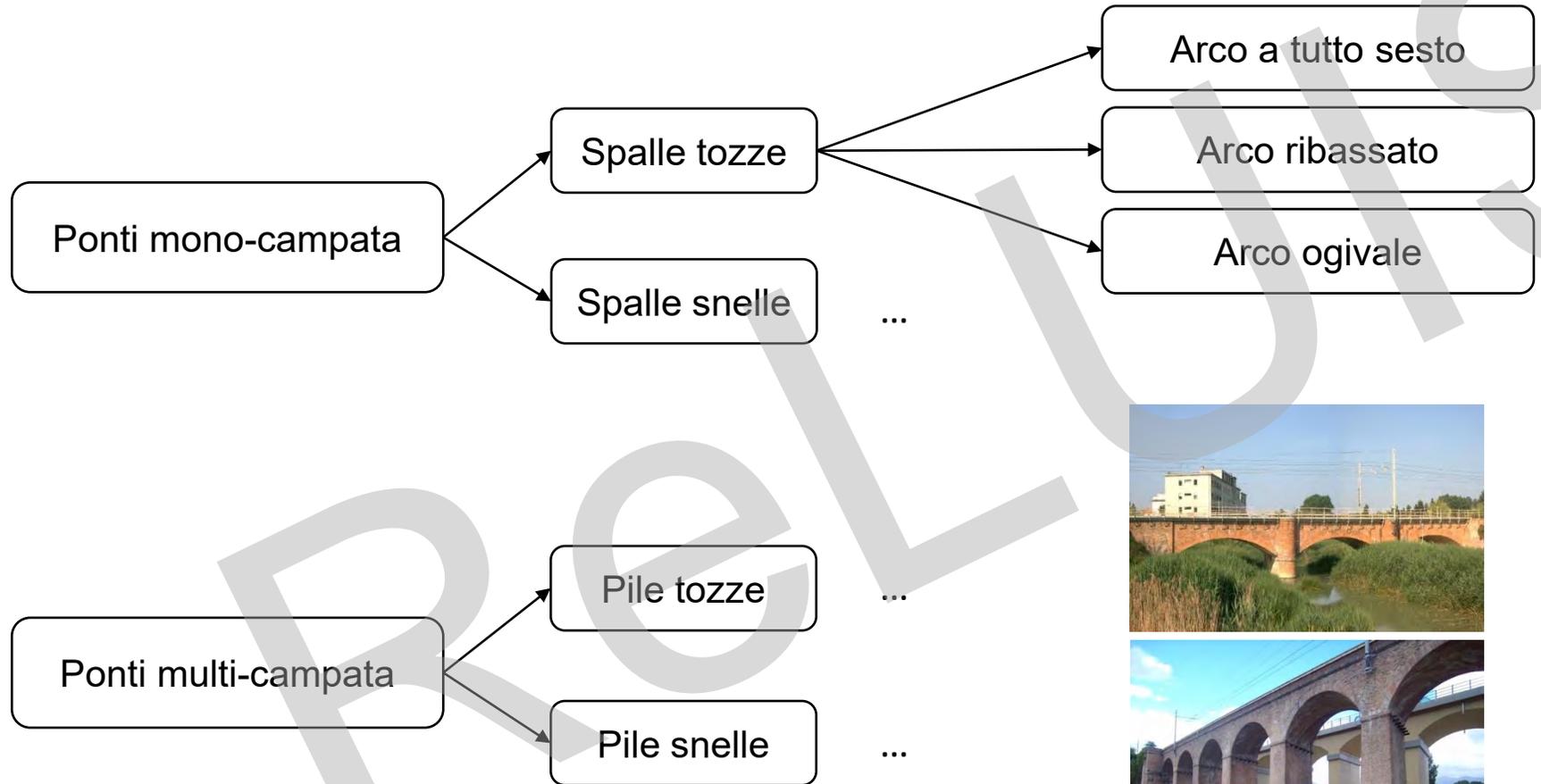
Ponti ad arco in muratura

Nomenclatura



Ponti ad arco in muratura

Classificazione

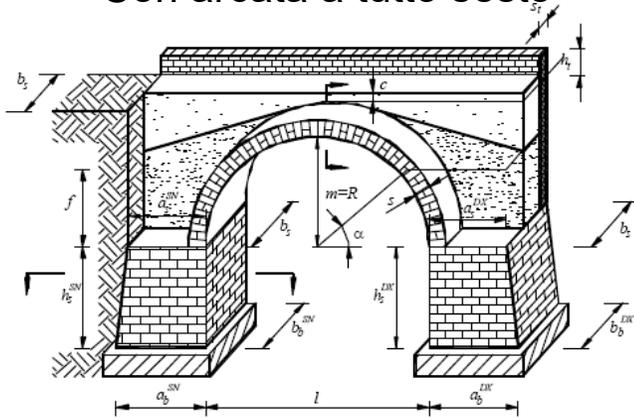


Ponti ad arco in muratura

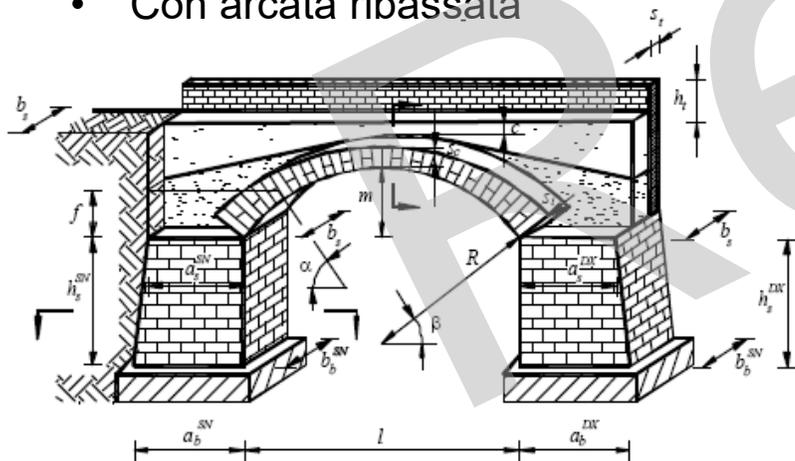
Tipologia e geometria

Ponti ad arcata singola

- Con arcata a tutto sesto



- Con arcata ribassata



Classificazione
(CNR UNI 10007/63)



- tombini, se $l \leq 1,5$ m



- ponticelli, se $1,5 \text{ m} < l \leq 6,0$ m



- ponti, se $l > 6,0$ m

Ponti ad arco in muratura

Tipologia e geometria

Ponti ad arcata multipla: ponti a più campate su pile basse

- con arcate a tutto sesto



11. Salaparuta. Ponte sul fiume Tuvareu, costruito a partire dallo scudo

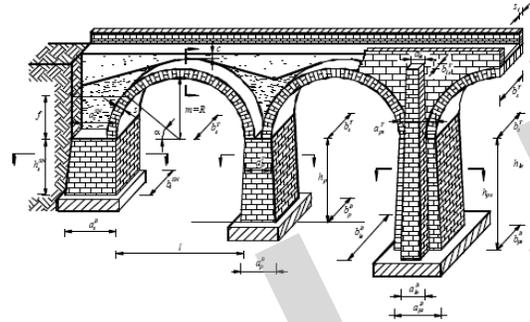
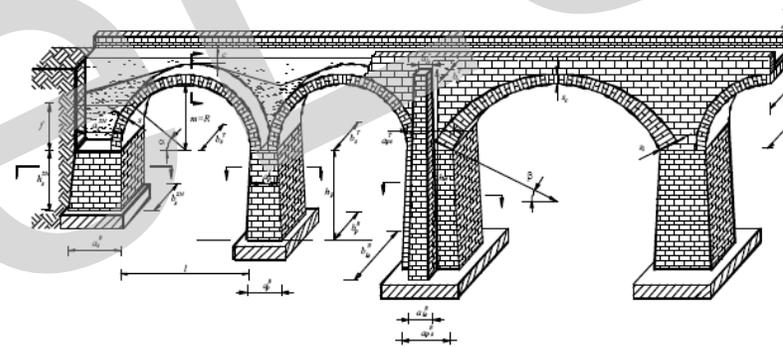


Figura 4. Tipologia di ponte/viadotto ad arcata multipla a tutto sesto

- con arcate ribassate



- con presenza di arcate differenti



Tipologia di ponte/viadotto ad arcata multipla con arcate a sesto ribassato.

Ponti ad arco in muratura

Tipologia e geometria

Viadotti: ponti a più campate su pile alte

- ad un solo ordine di arcate

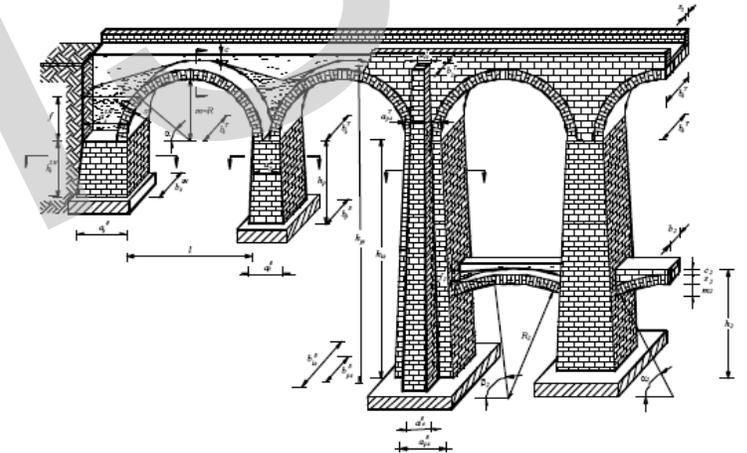


Viadotto in curva ad un solo ordine (viadotto Luogelkinnenviadukt, Svizzera).

- a due ordini di arcate



Viadotto Stura - linea Fossano-Ceva, progr. 2+606 (Archivio FS-TO)



Tipologia di viadotto a due ordini di arcate (arcate a tutto sesto).

Ponti ad arco in muratura

Tipologia e geometria



Ponti ad arco in muratura

Arcate

La parte principale della struttura, è costituita dalle arcate (o volte). Nei ponti vengono generalmente impiegate arcate a botte, ovvero con intradosso cilindrico e a pianta retta. L'ampiezza della curva individua diverse tipologie distinte dal ribassamento, ovvero dal rapporto freccia/luce (f / l):

- arco a tutto sesto (semicircolare): $0.4 < f / l < 0.5$
- arco ribassato (circolare, policentrico, raramente semiellittico), $0.1 < f / l < 0.4$;
- arco acuto o ogivale (tipologia medievale e tardo medievale): $f / l > 0.5$.

Arco a tutto sesto



Arco sul fiume Tronzo: veduta a monte (dalla costa).

Arco ribassato



Arco ogivale



Ponti ad arco in muratura

Arcate

La muratura dell'arcata viene realizzata impiegando pietra da taglio, pietra concia, oppure mattoni di laterizio. Per motivi economici e decorativi l'uso della pietra da taglio è stato spesso limitato all'arco frontale (*armilla*) e ai conci d'imposta (*chiave dell'arco*). La necessità di trasferire rilevanti azioni verticali e orizzontali alle reni impone una tessitura adeguata della spalla o della pila su cui s'impone l'arcata, ma anche una specifica tessitura della muratura della volta in cui i conci devono presentare angoli retti e i giunti si devono intersecare perpendicolarmente.



Arco realizzato secondo tessitura retta – (Archivio FS – TO)



Estradosso dell'arcata scalettato - ponte Sangone - linea Torino-Genova, (Archivio FS - TO).

Ponti ad arco in muratura

Arcate

Mentre i casi di volte con geometria non cilindrica rappresentano esempi molto rari, i ponti con volta a pianta non retta si presentano in numero piuttosto elevato.

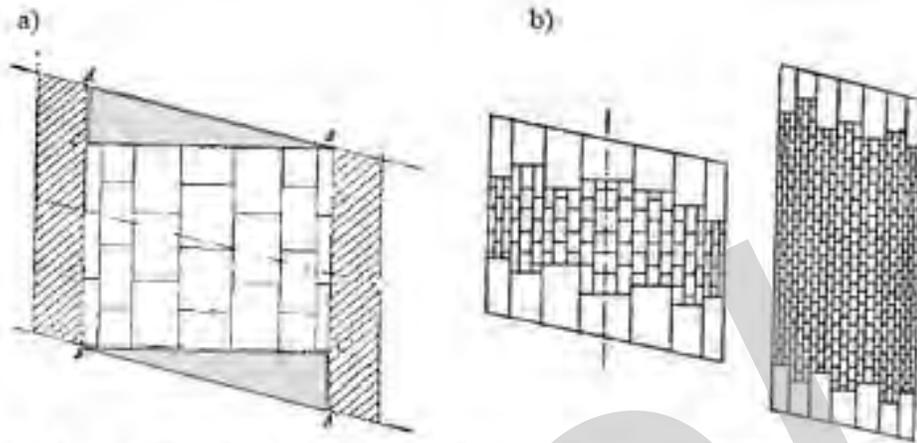


Figura 32. a) apparecchio retto su volta obliqua: ughe triangolari prive di appoggio su uno dei due lati;
b) apparecchio per manufatti di piccola obliquità o grande luce con estremità a larghezza non costante (Baggi, 1926)



Figura 33. Conci con angoli diedri acuti in una volta obliqua (Baggi, 1926)

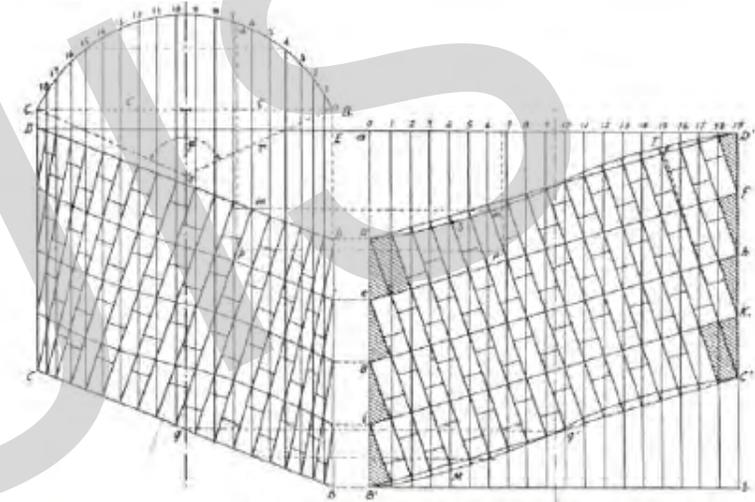


Figura 3 Tessitura elicoidale (Corini, 1941)



Figura 3 Tessitura elicoidale, ponte Borbore - linea Torino-Genova, progr. 54+797 (Archivio FS - TO)

Ponti ad arco in muratura

Arcate

Con volte di geometria non cilindrica che presentano obliquità superiori a 45° , risulta più conveniente realizzare una volta come serie di archi paralleli di minore larghezza, con la medesima luce e monta. Sono strutture ad anello affiancate, solidarizzate mediante conci doppi che interessano due anelli adiacenti e/o anche tramite tirantature in ferro.

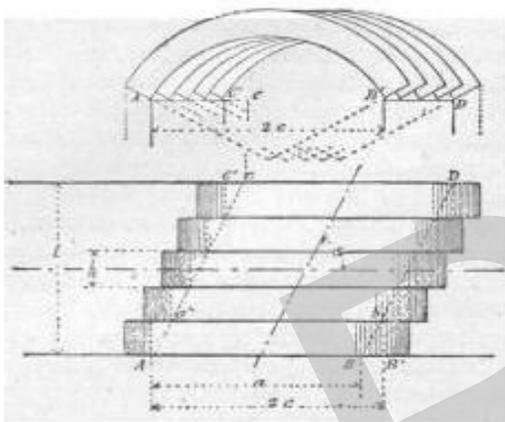
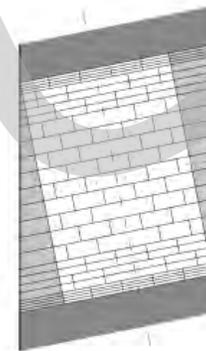
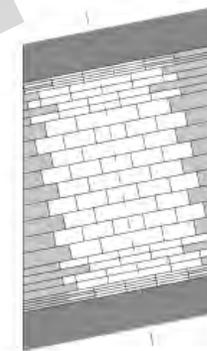


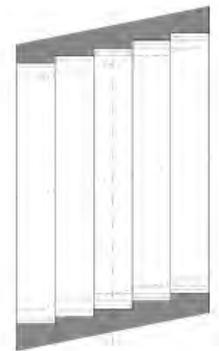
Figura 35.a,b. Volte oblique formate da anelli retti (Baggi, 1926).



CONCI A SPESSORE CRESCENTE



CONCI DOPPI



ANELLI MULTIPLI

Esempi di arcata con caratterizzata da inclinazione rilevante

Ponti ad arco in muratura

Arcate

Le fasi esecutive della muratura della volta seguono due diverse tecnologie: il *metodo ordinario* e il *metodo delle zone concentriche*.

- **Metodo ordinario** → ciascun filare viene completato prima d'iniziare il successivo, realizzando giunti estesi su tutto lo spessore dell'arco.
 - Ha l'inconveniente che lo spessore del giunto di malta non è costante, potrebbe raggiungere dimensioni eccessive.
 - Richiede centine robuste.

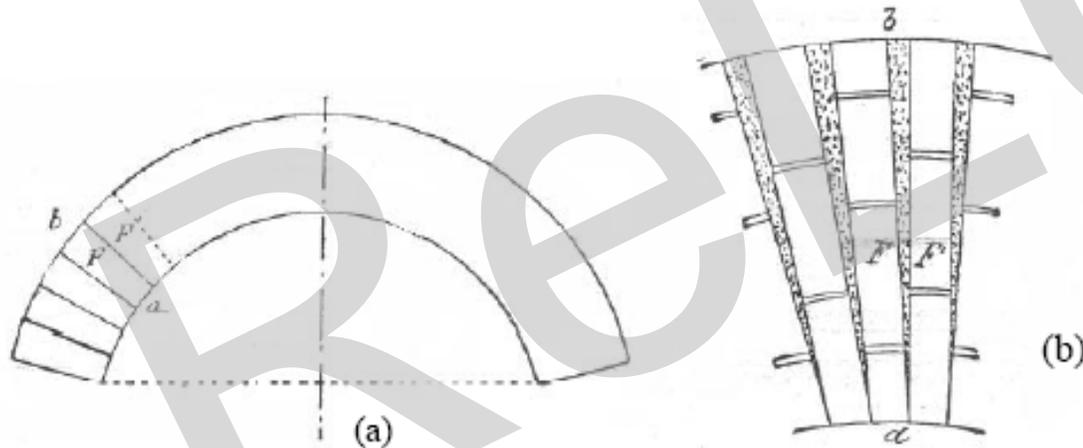


Figura 36.a,b (a) metodo ordinario; (b) allargamento dei giunti (Baggi, 1926)



Particolare di arcata, ponte Dora - linea Torino-Milano, progr. 5+915

Ponti ad arco in muratura

Arcate

Metodo delle zone concentriche → la volta viene realizzata a strati sovrapposti, quindi la centina può sostenere solo il primo strato di arcata.

- In questo caso i vari anelli non hanno un comportamento omogeneo (quello inferiore è più sollecitato, sostenendo il peso degli strati superiori).
- Sono adottati anche sistemi misti, realizzando per strati solo la parte centrale della volta.



I. Arcata a due strati - linea Savona-Carmagnola, progressiva 44-477 (Archivio FS - TO)

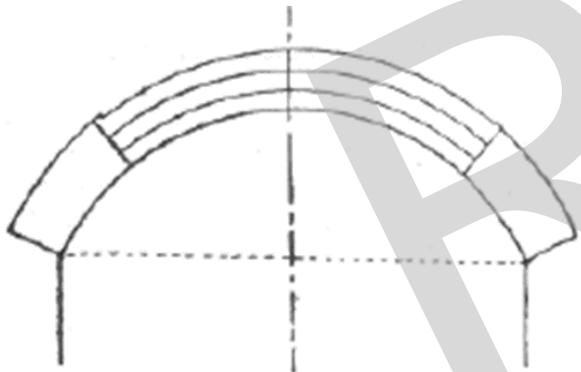


Figura 39. metodo misto per la costruzione della volta (Baggi, 1926).



Ponti ad arco in muratura

Rinfianco

- Al di sopra delle arcate, lo spazio necessario a realizzare un piano orizzontale viene colmato con due distinti materiali: in prossimità della volta, e con spessore maggiore al di sopra delle imposte e sulle pile, viene disposto il *rinfianco*, al di sopra del rinfianco viene collocato il *riempimento*, costituito da materiale sciolto o conglomerato poverissimo che porta il livello complessivo della struttura al piano viario.
- Tra rinfianco e riempimento si ritrova la *cappa* che assolve la funzione d'impermeabilizzare il ponte.

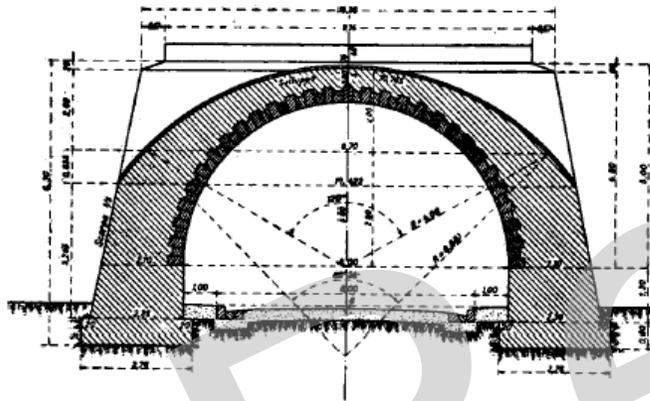
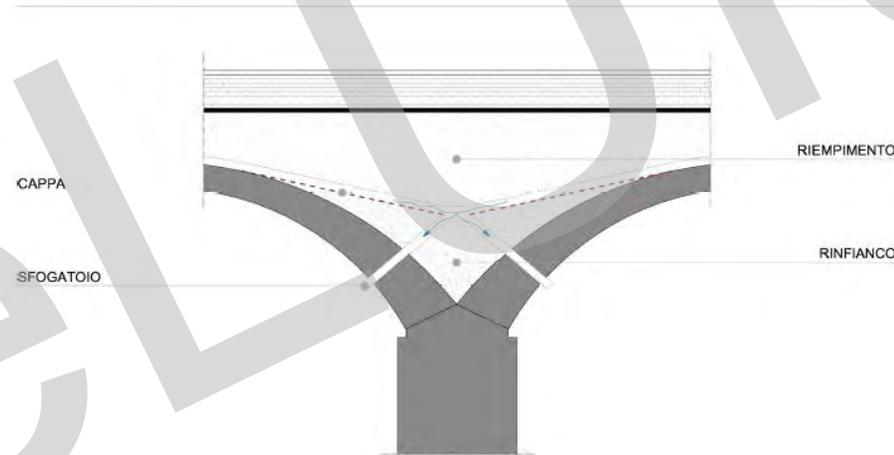


Figura 12 Ponte ad una arcata; geometria dei rinfianchi (Albenga, 1953).



- Il rinfianco è costituito, in genere, da un conglomerato con discrete caratteristiche meccaniche, inferiori rispetto a quelle della muratura delle arcate, o da muratura scadente, ma di peso maggiore rispetto a quello della volta.
- Il profilo superiore del rinfianco può essere rettilineo o, più spesso, è formato da piani inclinati con la funzione di convogliare l'acqua che s'infiltra nel riempimento verso i pluviali di scarico.

Ponti ad arco in muratura

Rinfianco

Il rinfianco assolve a due funzioni:

1. zavorrare, ovvero verticalizzare la spinta e, quindi, stabilizzare l'arco
2. costituisce un ostacolo alla formazione del meccanismo di collasso dell'arco

Se l'arco è a tutto sesto o a sesto ribassato con apertura maggiore di 120° , lo spessore di tali opere si estende in generale fino alle sezioni della volta a 60° dalla verticale.

Per archi a sesto ribassato e apertura inferiore a 120° il rinfianco si estende invece fino all'altezza maggiore tra quella dell'intradosso in chiave e quella dell'estradosso alle imposte.

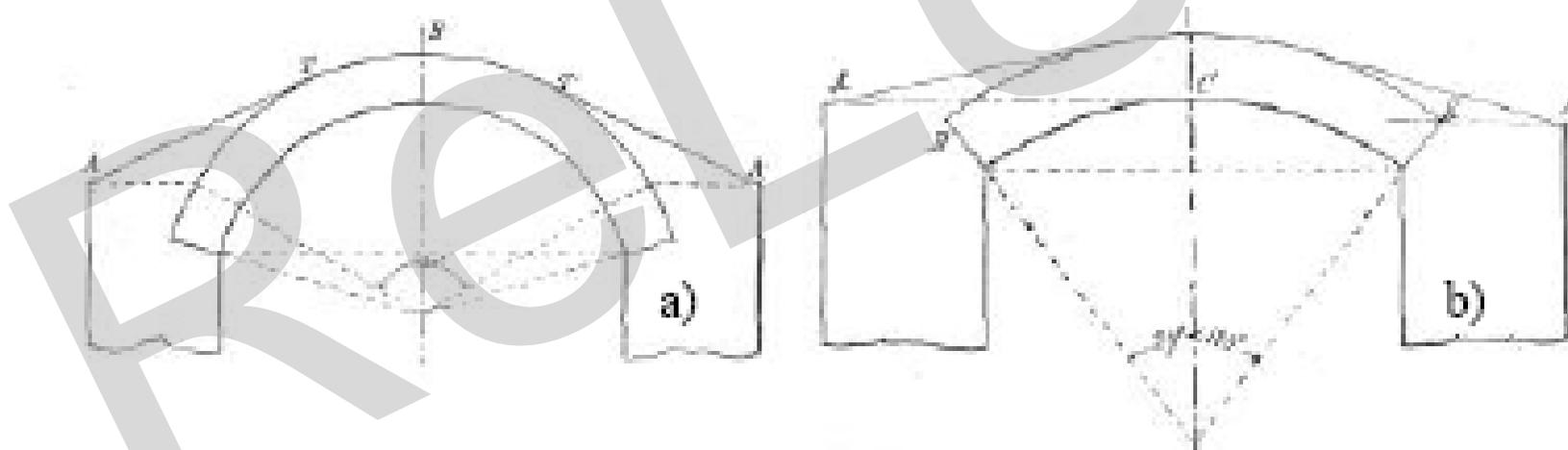


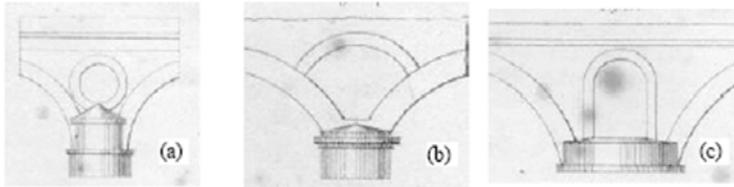
Figura 4 Altezza del rinfianco per archi di apertura maggiore (a) e minore di 120° (b) (Baggi, 1926)

Ponti ad arco in muratura

Rinfianco

Per ponti di grande luce, le dimensioni del rinfianco e del timpano possono diventare notevoli e condurre a pesi rilevanti sulla pila/spalla. Per questo talora si ritrovano dei fori, detti occhi di ponte, al di sopra delle pile o in prossimità delle reni, che favoriscono anche il deflusso delle acque in caso di piena.

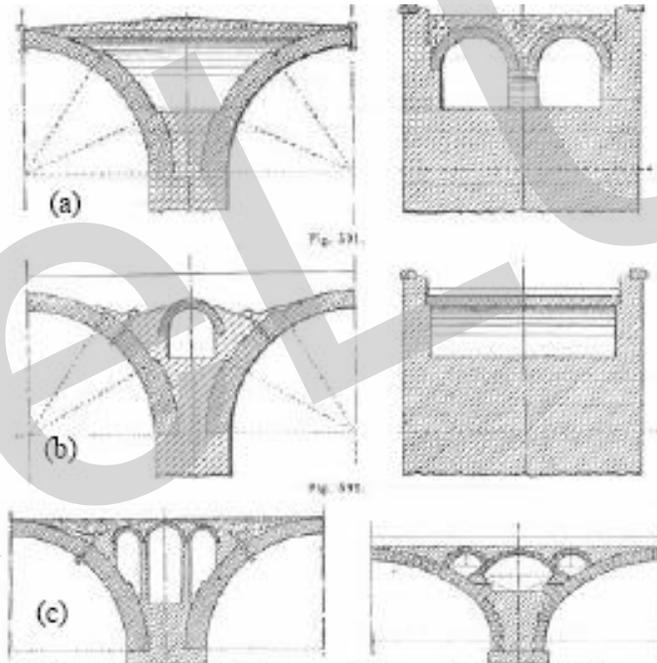
L'alleggerimento del rinfianco è stato realizzato con due diverse modalità: con una o più volte nascoste all'interno dei timpani, oppure, realizzando l'impalcato su arcate secondarie con pile appoggiate sulla struttura principale.



Occhi di ponte (Curioni, 1871).



Figura 48. Rinfianchi alleggeriti da archi secondari, ponte sul Rodano a La Balme (Grattesat ed., 19



Alleggerimento del timpano mediante archi secondari (Baggi,

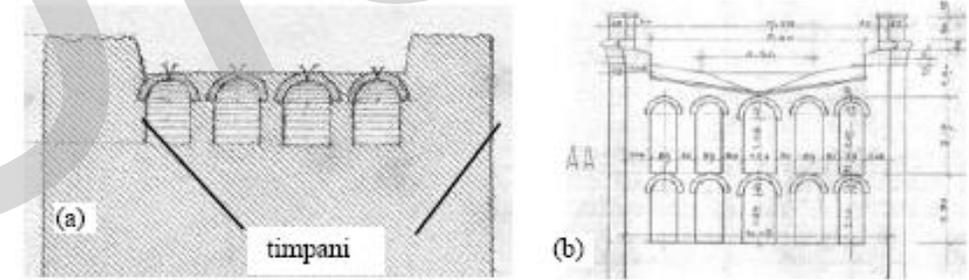


Figura 49. a- Rinfianco alleggerito con archi (Curioni, 1871), b- Rinfianco alleggerito del ponte Stenevasso - linea Torino-Genova, progr. 37+733 (Archivio FS - TO)



Ponti ad arco in muratura

Cappa

L'impermeabilizzazione del ponte è ottenuta mediante una cappa (5 ÷ 10 cm di spessore) eseguita con malta cementizia o malta idraulica con molto legante, 350 kg/m³, preparata con sabbia grossa e ricoperta di asfalto bituminoso. E' presente del materiale drenante (pietrisco) che facilita la raccolta delle acque che vengono allontanate dagli sfogatoi.

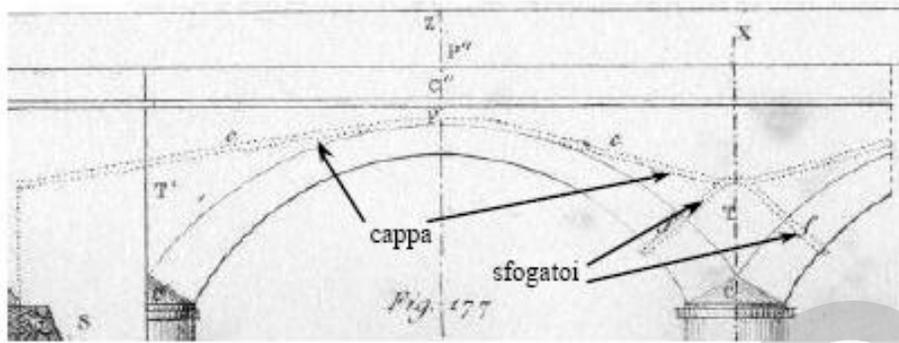


Figura 50. Cappa e sfogatoi (Curioni, 1871).

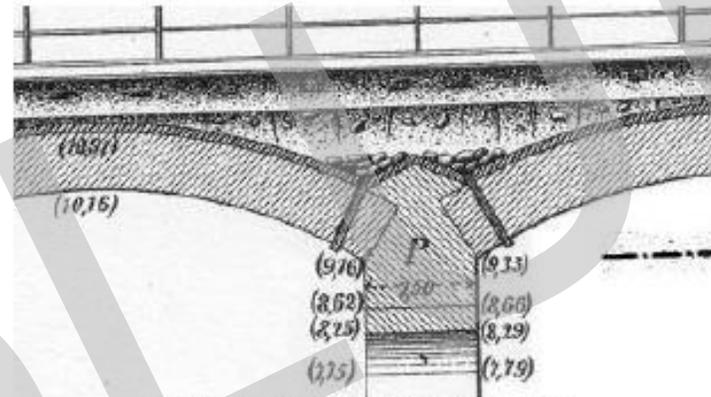


Figura 51. Cappa e rinfiaccio (Curioni, 1871).

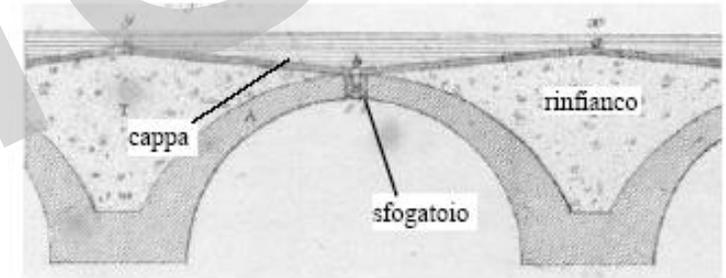


Figura 52. Cappa e rinfiaccio (Curioni, 1871).

La cappa può essere realizzata anche direttamente sull'estradosso dell'arcata. Questa disposizione limita la dimensione del rinfiaccio. Un'ulteriore geometria di rinfiaccio e cappa prevede il raduno delle acque nella mezzeria dell'arcata, in questo caso la dimensione del rinfiaccio è notevole.

Ponti ad arco in muratura

Riempimento

Poiché il profilo superiore del rinfianco non è piano, è necessario disporre al di sopra della cappa un riempimento, generalmente costituito da terreno leggero o ghiaia drenante, che contribuisce anch'esso a ripartire sull'arcata i carichi.

Nei viadotti, specie con pile di rilevante altezza, non è raro trovare il riempimento sostituito da una serie di voltine di mattoni.

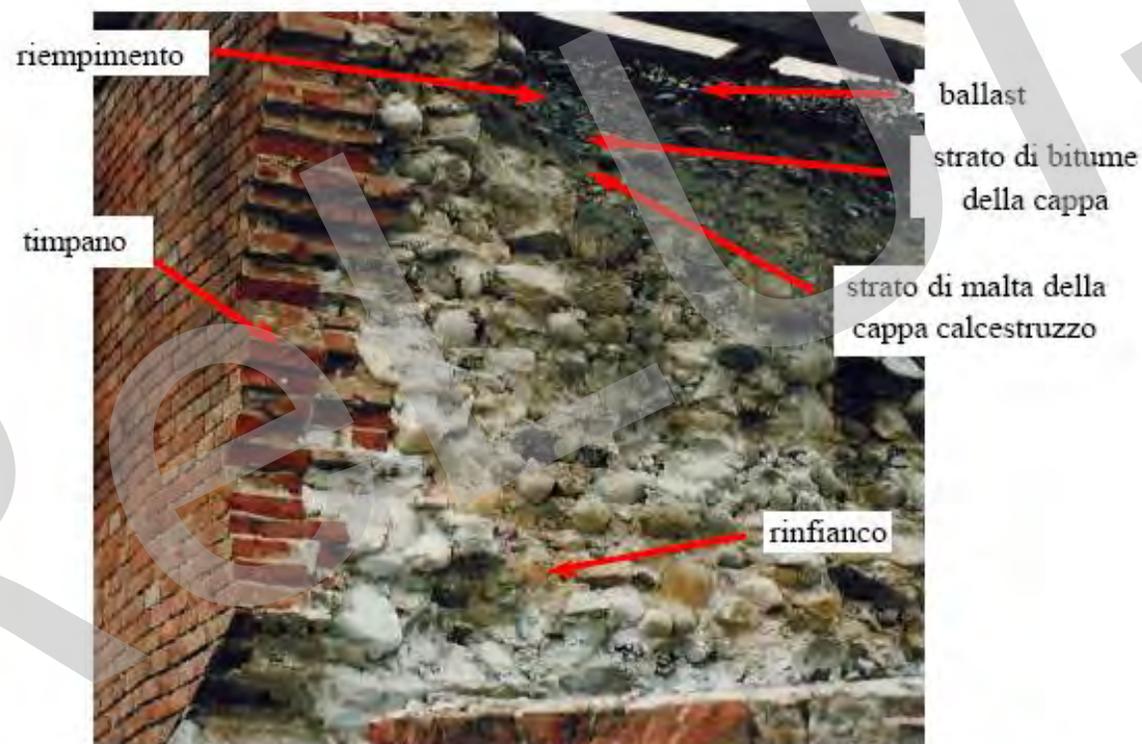


figura 5 Particolare della sezione in prossimità dell'imposta, ponte Gesso – linea Cuneo-Mondovi (Archivio FS - TO)

Ponti ad arco in muratura

Timpani

I **timpani**, detti anche muri andatori, corrono superiormente alle arcate ed alle pile fino all'altezza del suolo stradale e costituiscono le parti laterali dei ponti; essi assolvono la funzione di contenere il rinfiango in fase di getto nonché il riempimento sovrastante. Perché non ci sia troppa disparità di peso sulla volta, rispetto a quello di riempimento, cappa e massicciata, i timpani, in genere, sono costruiti con murature più leggere di quelle dell'arco stesso e del rinfiango.

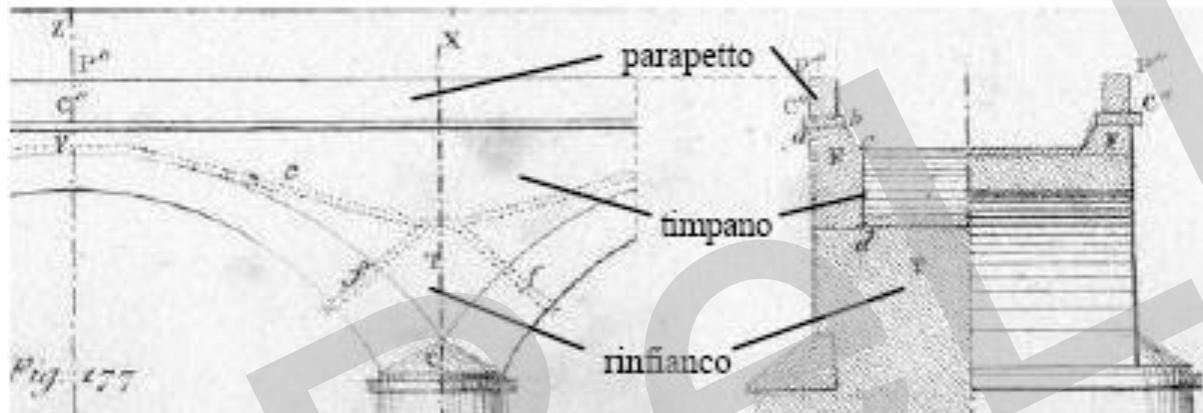


Figura 43. Sezione longitudinale e trasversale (Curioni, 1871).



Figura 15 Muro andatorio o timpano. Si osservi il coronamento in pietra a taglio (ponte Dora - linea Torino-Milano, progressiva 5-915 - Archivio FS-TO).

Il paramento interno può essere inclinato se molto alto (scarpa di 1/6 o riseghe di larghezza 6-15cm). Al di sopra dei timpani si trovano le cornici di coronamento, in pietra tagliata, e il parapetto (h 1m circa, larghezza 0.2-0.6m).

Ponti ad arco in muratura

Spalle

Le spalle assolvono alla funzione di muro di sostegno del terreno del terrapieno di accesso nonché di sostegno alla volta; sono quindi sollecitate da rilevanti sollecitazioni. Sono strutture massicce, costituite in genere da un robusto piedritto nel senso alla corrente del fiume simile ad una pila. In alcuni casi la spalla è munita di due muri di accompagnamento.

Uno dei dissesti possibili deriva dallo scorrimento dei giunti di malta attivato dalle forti spinte orizzontali trasmesse dall'arcata; per questo le reni degli archi non presentano giunti di malta orizzontali ma disposti perpendicolari alla direzione di spinta.

Nei ponti di grande luce la spalla può raggiungere proporzioni ragguardevoli. In questi casi si ritrova spesso un vano all'interno del manufatto, coperto da una grossa volta a sesto ribassato. La spinta dell'arco neutralizza in parte quella proveniente dall'arcata del ponte. I vani nascosti all'interno delle spalle permettono di alleggerire la struttura diminuendo il carico in fondazione.

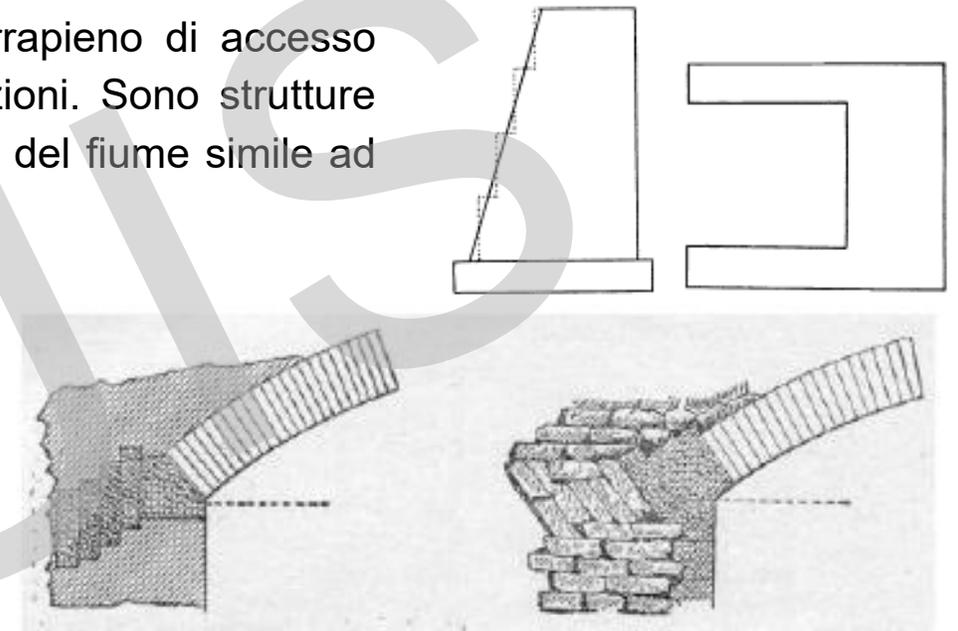


Figura 11. Disposizione dei blocchi in prossimità dell'imposta (Baggi, 1926)

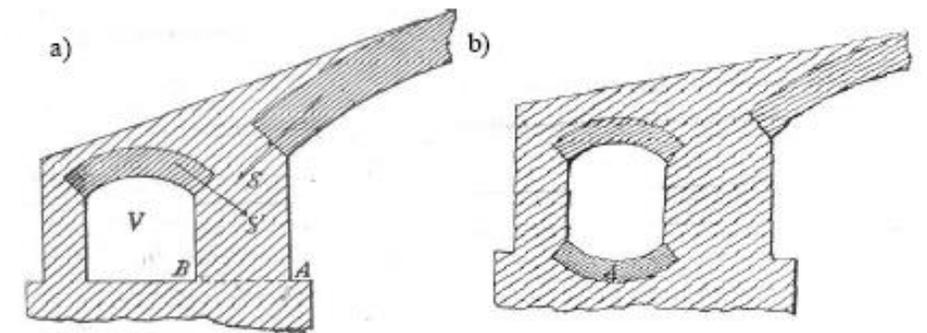


Figura 13. Vani dentro le spalle per diminuire (a) il volume; (b) il carico in fondazione (Baggi, 1926)

Ponti ad arco in muratura

Spalle

Un'altra tecnica di alleggerimento delle spalle dei ponti di grande luce è quella di munirle di contrafforti. In alcuni casi le estremità dell'arco venivano prolungate entro le spalle e confinate con muratura piena ovvero lasciandovi dei vani in adiacenza.

La necessità di deviare il flusso della piena ha condotto all'introduzione di rostri a monte e a valle delle spalle.

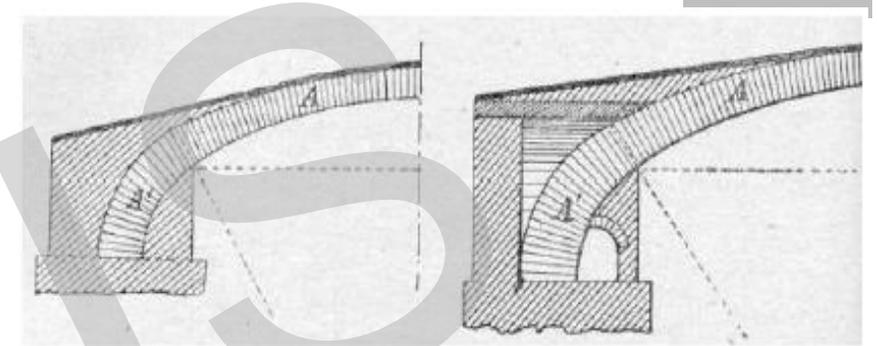


Figura 1 a, b Particolari delle volte in prossimità delle spalle (Baggi, 1926).

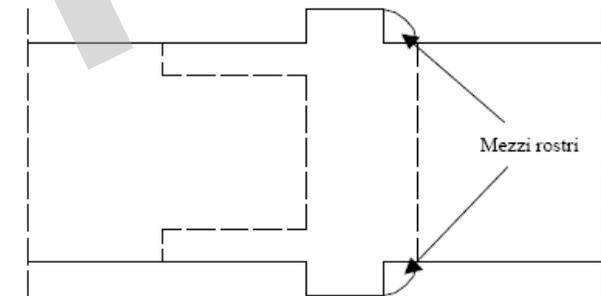
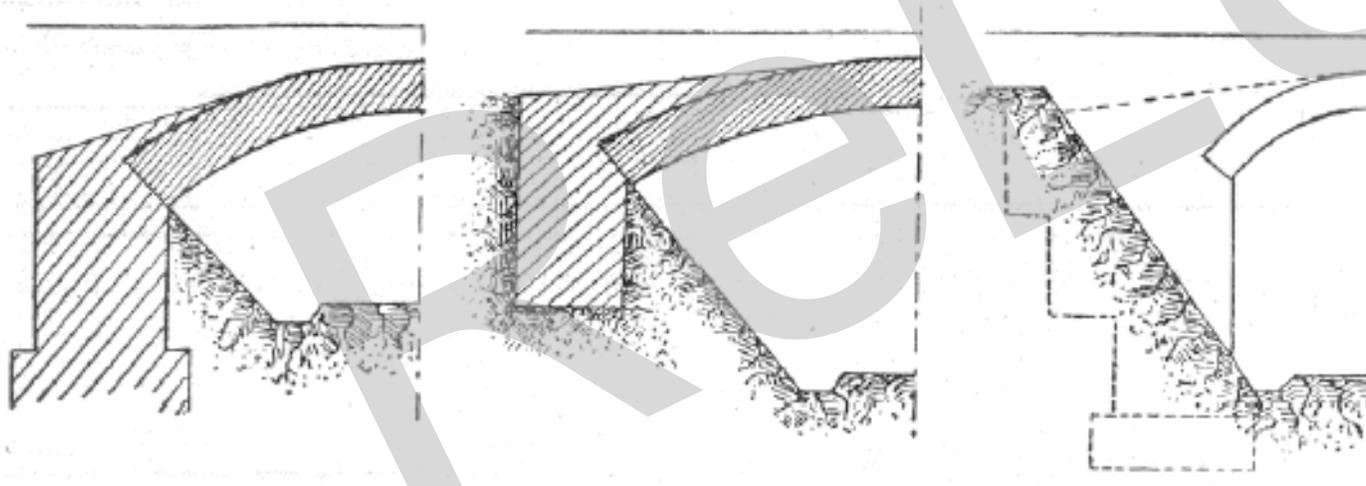


Figura 15. Larghezza della spalla con mezzi rostri

Nei cavalcavia delle trincee di linee ferroviarie le spalle possono essere interrato nel terreno della scarpata per consentire una quota di fondazione più elevata rispetto a quella di una spalla tradizionale.

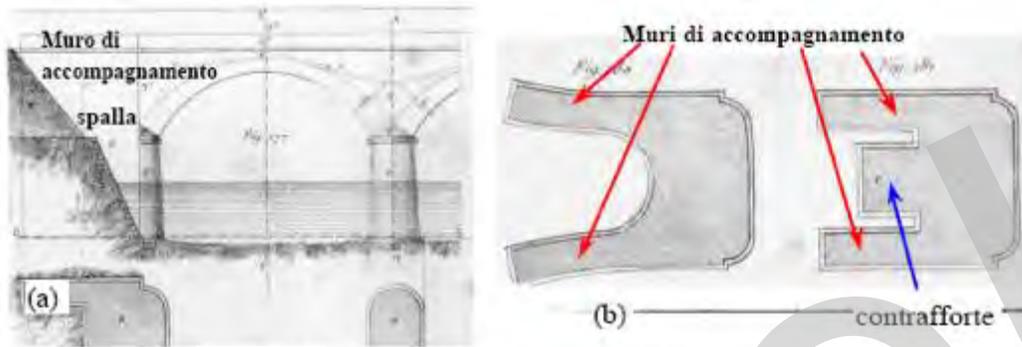


Esempi di spalle nascoste (Baggi, 1929).

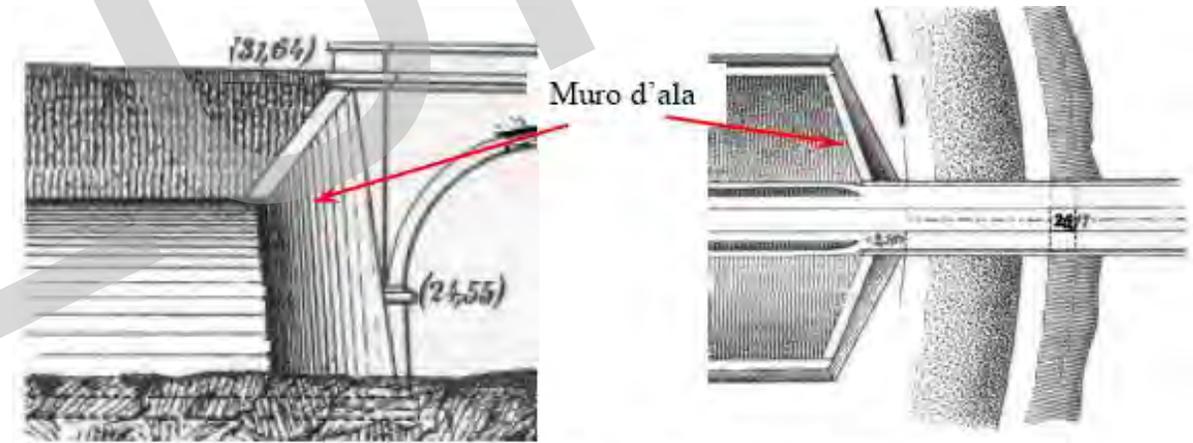
Ponti ad arco in muratura

Muri d'accompagnamento e d'ala

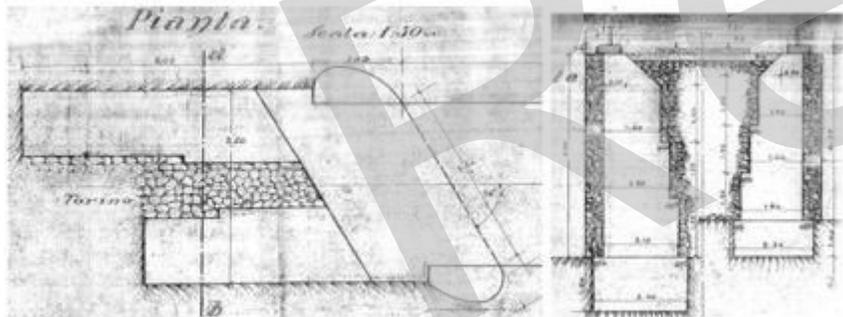
I muri d'accompagnamento (o di risvolto), sono collocati sui lati della spalla ed hanno la funzione di contenimento del terreno dei rilevati di accesso al ponte; se sono disposti essenzialmente in direzione parallela all'asse del ponte, essi divengono dei contrafforti d'irrigidimento della spalla. Al loro posto si possono ritrovare i muri d'ala, disposti in prosecuzione della spalla e generalmente con svasatura di $60^\circ \div 80^\circ$ rispetto all'asse del ponte.



Spalle e muri d'accompagnamento (Curioni, 1871).



Prospetto e planimetria di muro d'ala (Curioni, 1871).

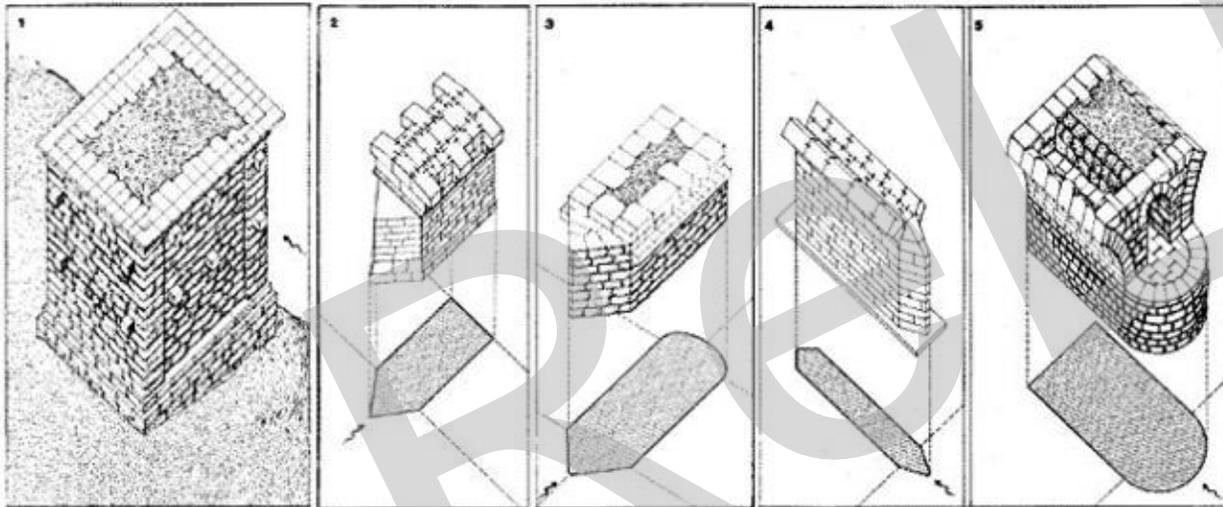


Pianta di spalla e sezione del muro d'accompagnamento - ponte Chesola, linea Torino-Pinerolo, progr. 10+898 (Archivio FS- TO).

Ponti ad arco in muratura

Pile

- Le pile dei ponti hanno in genere pareti verticali o, nel caso di viadotti con pile di notevole altezza, presentano una scarpa di inclinazione pari a $1/10 \div 1/20$.
- Anche per le pile si presenta la necessità di contenere la pressione trasmessa al terreno; l'accorgimento tecnico è l'inserimento di vani vuoti per ridurre il peso proprio della struttura. Le pile situate nell'alveo di un corso d'acqua presentano sia a monte sia a valle due appendici, detti rostri, con la funzione di modificare gradatamente la sezione dell'alveo, di deviare il materiale trasportato dal fiume e ridurre la turbolenza della corrente.



20. Pianta e rappresentazione prospettica dall'alto di cinque tipi di pile. 1. Pila 'a pilastro con pianta rettangolare senza rostri (Ponte-Viadotto di Augusto a Narni); 2. Pila 'con solo avambecco a pianta triangolare' (Pont Ambroix in Francia); 3. Pila 'con avambecco a pianta triangolare e retrobecco arrotondato' (Ponte già di Augusto e ora di Tiberio a Rimini); 4. Pila 'con avambecco e retrobecco a pianta triangolare (Ponte San Lorenzo a Padova); 5. Pila 'con avambecco arrotondato soltanto a monte e senza retrobecco' (Ponte sul fiume Guadiana a Mérida).



Ponti ad arco in muratura

Pile

I viadotti presentano un'elevata altezza delle pile, al punto che sovente si rende necessario ridurre l'altezza libera della pile mediante l'inserimento di un secondo ordine di arcate (per pile > 40m).

Anche le pile dei viadotti, nonostante la notevole snellezza, venivano alleggerite con vani chiusi o, raramente, accessibili, unici su tutta l'altezza o suddivisi in più camere.

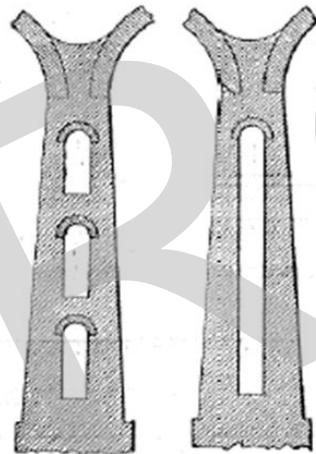


Figura 23 Pile da viadotto cave (Baggi, 1926).

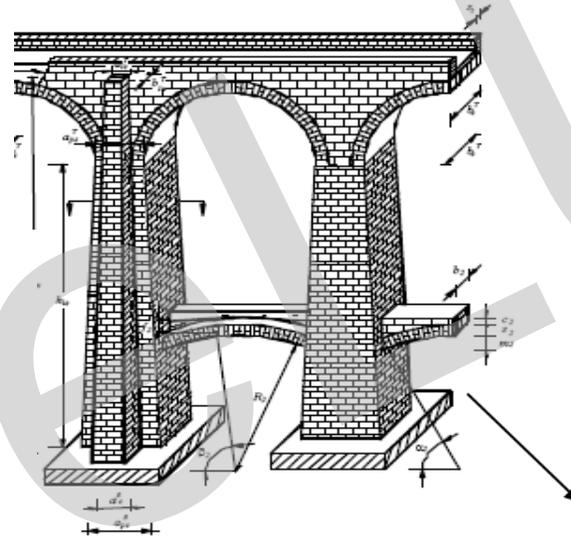
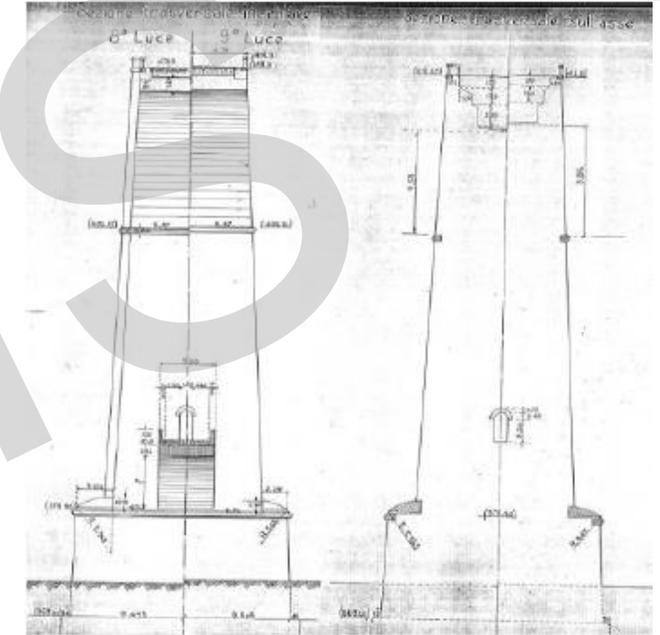


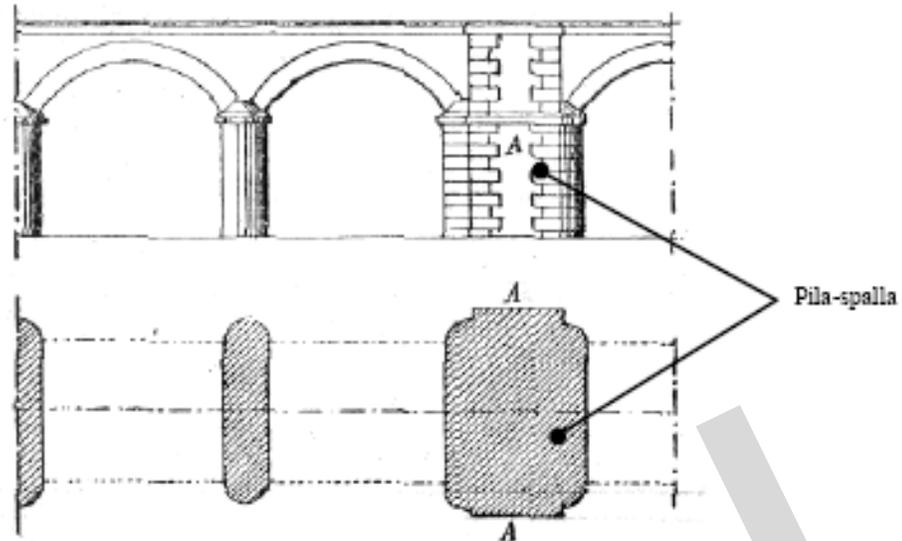
Figura 25. Viadotto Sours - linea Fossano-Ceva, prog. 2-606 (archivio FS-TO)



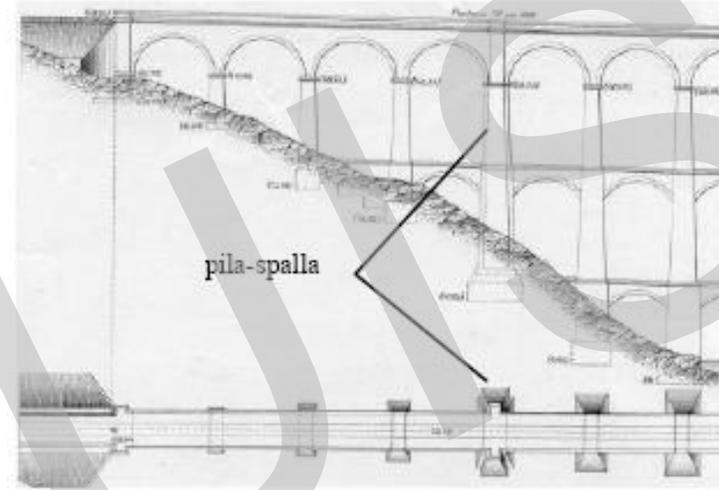
f. Sezione trasversale in chiave e in asse di una pila del viadotto Ellero - linea Fossano

Ponti ad arco in muratura

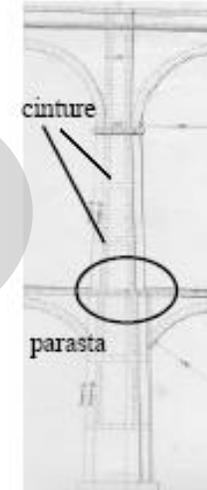
Pila-Spalle



. Pila-spalla (Baggi, 1926).



Viadotto a tre ordini di arcate e particolare della pila-spalla (Curioni, 1871).



Nei ponti a più arcate il collasso di una pila può provocare il collasso a catena di tutta la struttura; per evitare questa evenienza si ritrovano fra le pile snelle delle pile più tozze, dette pile-spalle, in grado di resistere alla eventuale spinta di una sola arcata non più contrastata dall'arcata crollata. Il numero di pile-spalle è determinato attraverso considerazioni di natura economica, in modo da rendere minima la spesa di ricostruzione della parte di ponte tra due pile spalle più quella per la loro costruzione.

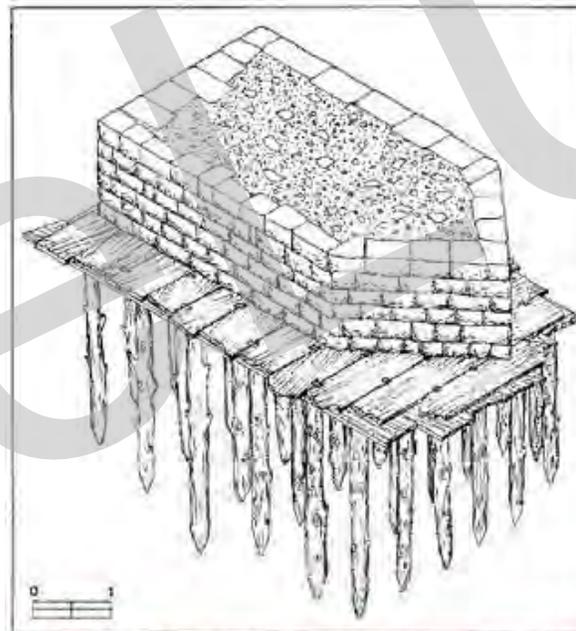


Ponti ad arco in muratura

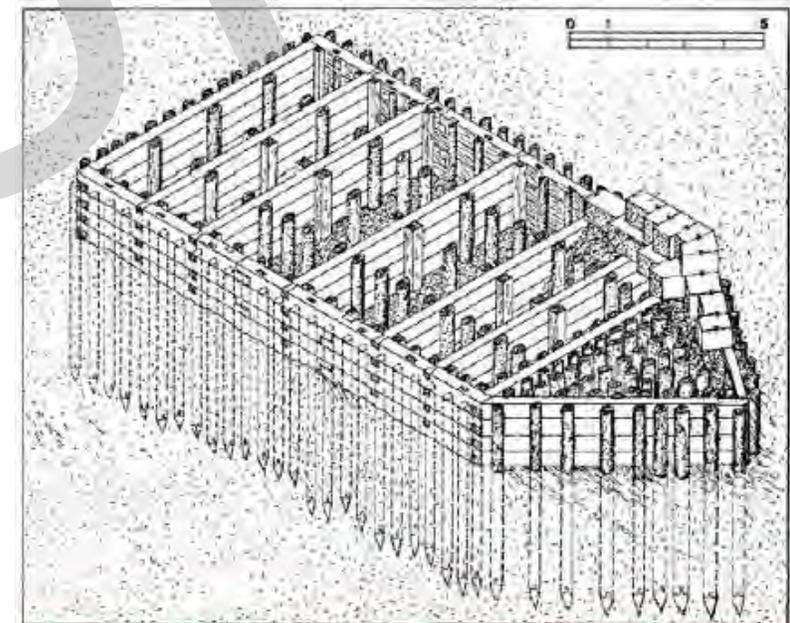
Fondazioni

- a) la fondazione profonda su pali;
- b) la fondazione superficiale o semi-profonda su pozzo;
- c) la fondazione a platea.

L'utilizzo di pali in legno nelle fondazioni è una tecnica che risale ai tempi dei Romani. Il diametro utilizzato per questo tipo di pali varia da 20 a 35 cm, le dimensioni di un tronco d'albero facilmente trasportabile, per una lunghezza che raramente supera i 10 metri, vista la difficoltà d'infissione.



17. "Arco di Pace in Roma (Ponte I)". Ponte romano costruito sul fiume Tevere con pali di legno infissi nel terreno. Riproduzione di un disegno di un ingegnere del XIX secolo.

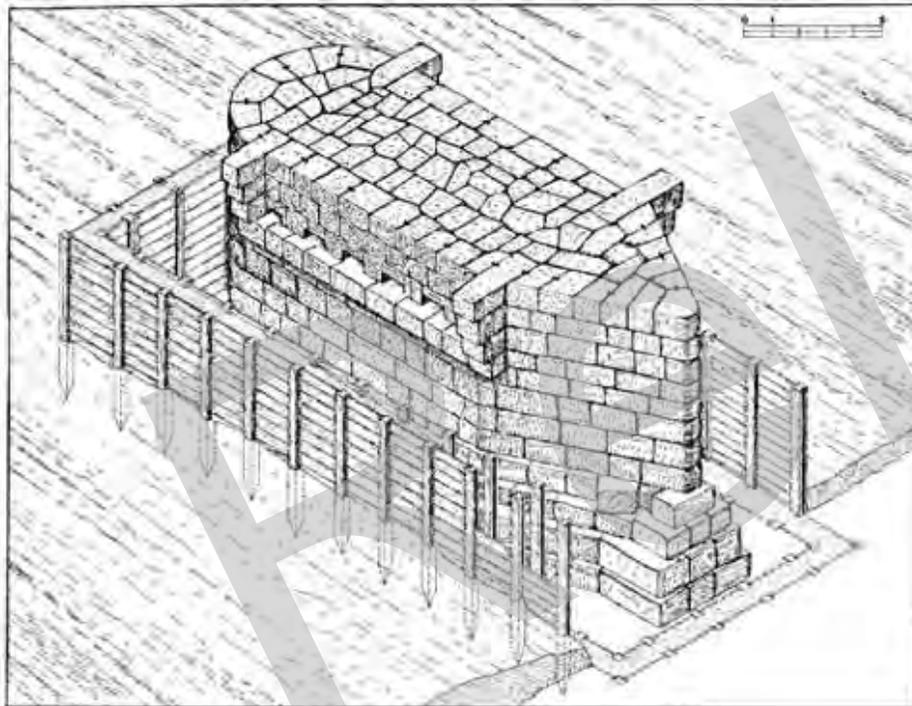


18. Ponte "nuovo" sulla Senna a Meung-sur-Loire: rappresentazione prospettica costruttiva di una "palafite" di legno con infissione di cannone.

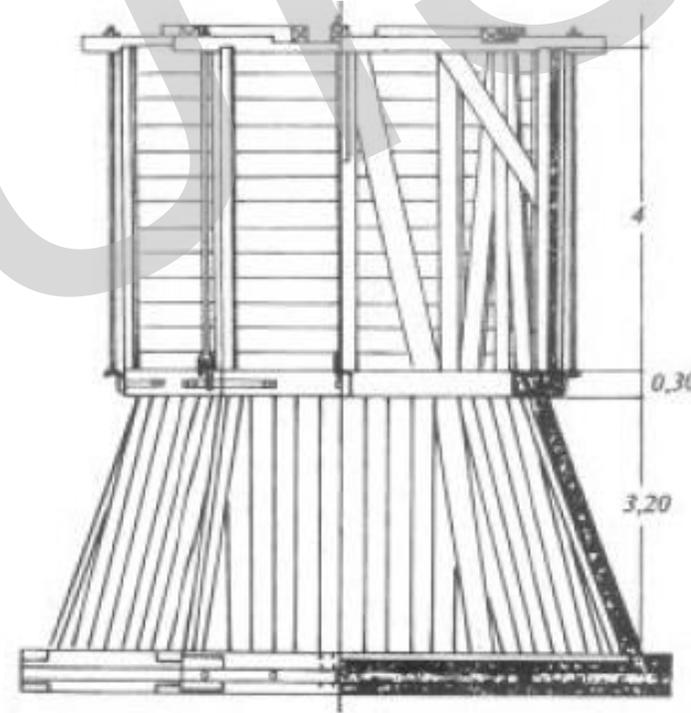
Ponti ad arco in muratura

Fondazioni

Le nuove tecniche e lo sviluppo dei mezzi di pompaggio permisero di stabilire la base della pila ad alcuni metri sotto il livello dei fiumi. Verso la fine del XVIII secolo viene sviluppata la tecnica del cassone affondato. Il cassone veniva assemblato a riva, riempito nella parte inferiore con 3 o 4 corsi di muratura a formare la base dello scafo e affondato in corrispondenza della pila. La costruzione della muratura procedeva dentro al cassone fino al livello dell'acqua; successivamente il cassone veniva smontato e riutilizzato per le altre pile.



19. Il cosiddetto Secondo Ponte o Römerbrücke sulla Mosella a Treviri: rappresentazione prospettica dall'alto di una 'tura prefabbricata' o 'cassone' (in parte ricostruito) del tipo a doppia paratia stagna.



Cassone stagno della metà del XIX sec. (Ministere des

Ponti ad arco in muratura

Fondazioni

Nel XIX secolo vennero sviluppate tecniche diverse che impiegavano il calcestruzzo. L'ancoraggio dei pali viene realizzato mediante un grosso blocco di calcestruzzo, consentendo l'abbandono del grigliato in travi di legno. Per evitare il dilavamento del calcestruzzo durante il getto veniva realizzata una cortina di palancole in legno a corona del plinto.



Particolare della sommità della palancole di protezione, viadotto Stura – linea Cuneo-Cuneo Gesso, progr. 5+260 (Archivio FS-TO)

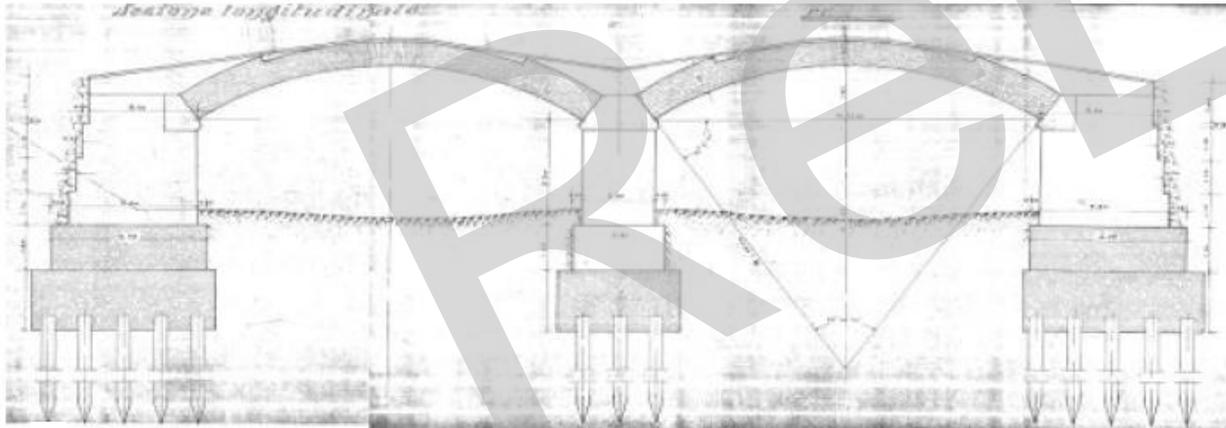
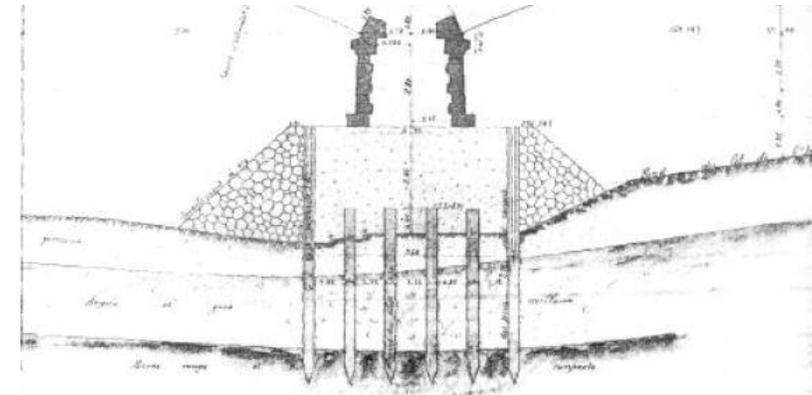


Figura 5. Fondazioni del ponte Chesola - linea Torino-Pinerolo, progr. 10+898 (Archivio FS-TO)

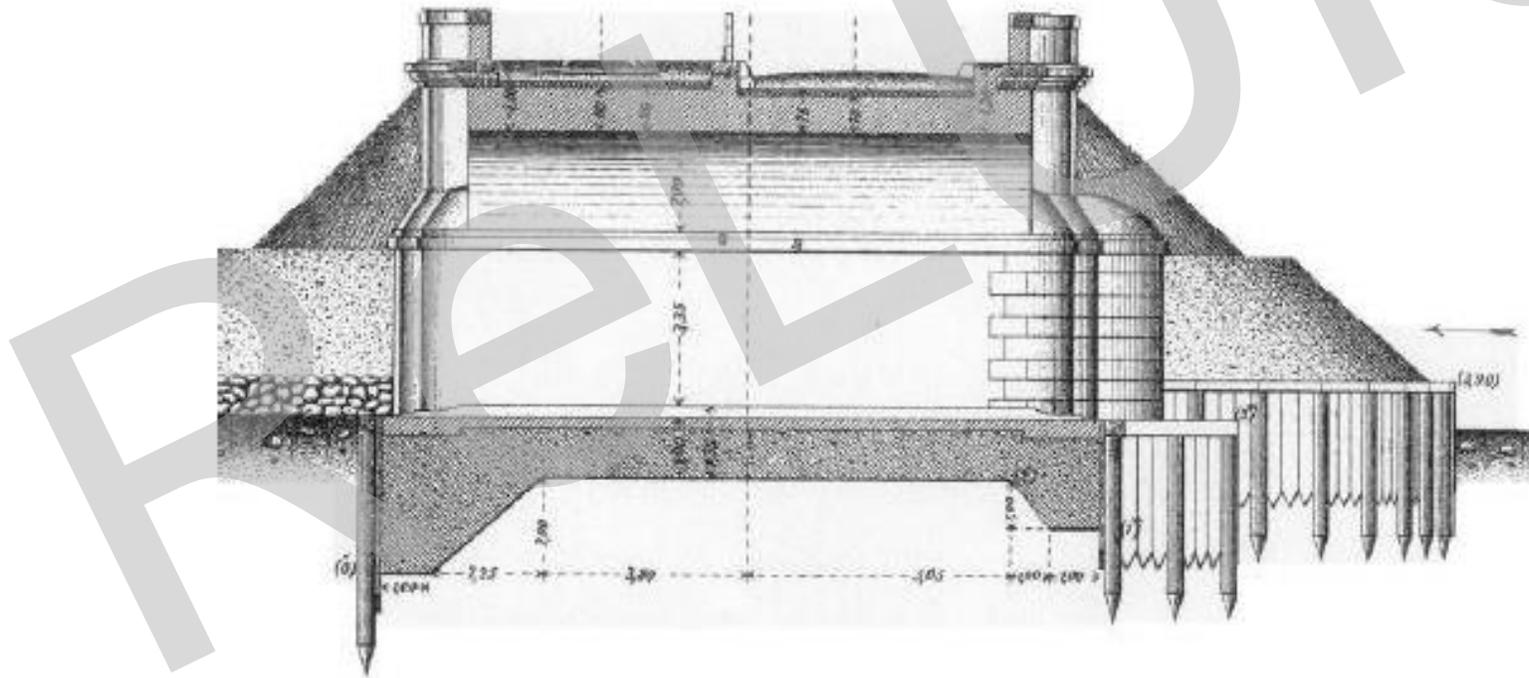


Fondazione su pali con blocco di calcestruzzo, getto eseguito sott'acqua all'interno di una cortina di palancole (Ministere des Transports, 1980).

Ponti ad arco in muratura

Fondazioni

Fondazioni superficiali si ritrovano solo quando il substrato roccioso si trova a breve distanza dal piano di campagna. La fondazione a platea è costituita da un'unica struttura fondale comune a tutte le pile e che, in corrispondenza del ponte, viene a ricoprire il fondo dell'alveo fluviale. In generale questo tipo di fondazione è stato impiegato nella realizzazione di piccole opere ed è stata realizzata a profondità maggiore di 1 metro al di sotto del livello di secca. Presenta un tallone a monte ed uno a valle ed è, in genere, circondata da una paratia di pali collegati da filagne e da tavoloni disposti verticalmente.



Ponti ad arco in muratura

Materiali

Nei ponti in muratura vengono impiegati materiali differenti per realizzare le diverse parti del ponte sia per rispondere ad esigenze di tipo statico (maggiore resistenza nelle strutture più sollecitate, maggiore leggerezza nelle parti secondarie) sia di natura economica. In generale è possibile eseguire una classificazione dei materiali usati per ciascun elemento strutturale:

- ARCATE, TIMPANI, SPALLE, PILE: muratura di mattoni o di blocchi di pietra squadrata;
- RINFIANCHI: muratura di mattoni o di blocchi di pietra squadrata, conglomerato povero di legante ma con discrete caratteristiche meccaniche;
- RIEMPIMENTO: materiale incoerente (terra, smarino di risulta dallo scavo delle gallerie) oppure, per ridurre la spinta sui timpani, pietrame a secco, pietrisco minuto, ghiaia o ballast, più raramente calcestruzzo magro di pozzolana (una parte di calce, 9-10 di sabbia), molto raro l'impiego di calcestruzzo in quanto non economico e molto pesante;
- CAPPA: in genere malta impermeabile ed elastica per resistere ai carichi o alle dilatazioni termiche. Se il ponte è di dimensioni contenute la cappa è costituita da un unico strato di 6-10 cm di calcestruzzo, quindi viene creata una barriera all'acqua a bassa permeabilità; per i ponti maggiori la cappa è formata da due strati: uno inferiore di 3-5 cm di cls cementizio, quello superiore di 1.5-2 cm di asfalto bituminoso. A volte è presente un terzo strato di sabbia o calcestruzzo magro a protezione del manto impermeabile.

Ponti ad arco in muratura

Materiali

Malta (legante + aggregato
+acqua + ev. additivi)



Pozzolana



Calce



Clinker (cemento)

Elementi resistenti



Pietra Calcarea di Cugnano



Elementi di laterizio - mattoni

Le murature utilizzate sono di 2 tipi:

- **muratura litoide**, realizzata con blocchi di pietra squadrata. Era impiegata per l'intera arcata solo per opere monumentali, generalmente utilizzata limitatamente ai paramenti e ai cuscinetti d'imposta, talvolta per le armille e il rivestimento esterno dei timpani.

- **muratura di mattoni**, di gran lunga la più utilizzata, anche nella variante a sacco (per le pile), in cui il paramento esterno è realizzato con muratura di mattoni, mentre il nucleo interno è riempito con materiale incoerente o conglomerato povero.

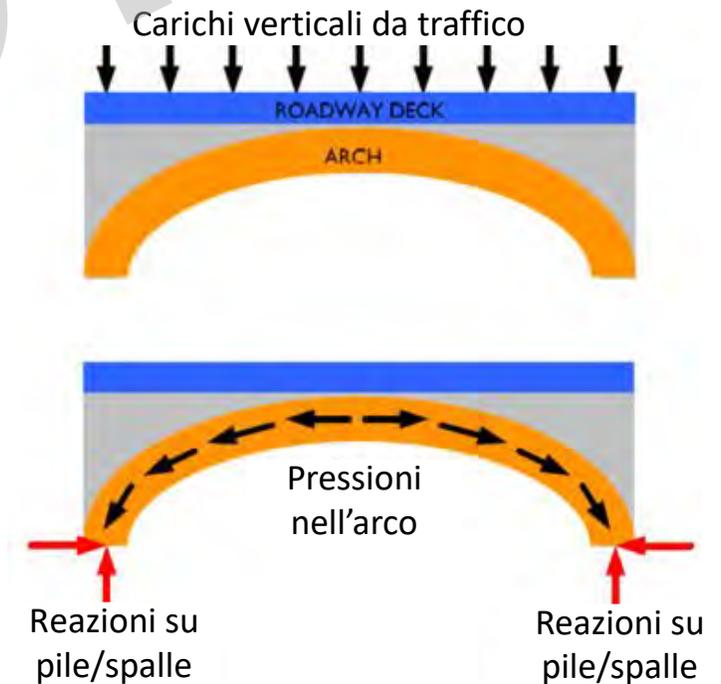
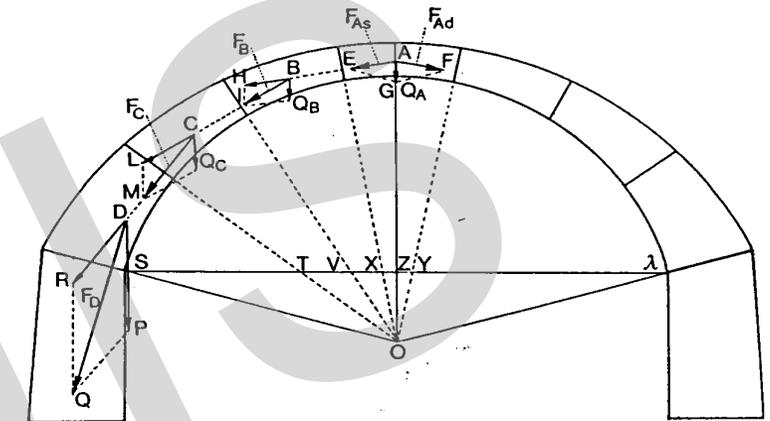
Ponti ad arco in muratura

Funzionamento strutturale

L'arco è sottoposto ad azioni verticali di peso (peso proprio e peso portato) e grazie alla sua conformazione trasmette queste forze alle spalle verticali con direzioni inclinate. Poiché il concio di chiave non può traslare verso il basso, a causa della presenza dei conci adiacenti, scarica il suo peso su di essi che a loro volta lo trasmettono, sommandovi il proprio, al concio successivo, fino alle spalle.

Le forze inclinate originate dal mutuo contrasto tra i conci determinano quindi una risultante totale, anch'essa inclinata, che una volta trasmessa alle spalle si scompone in una componente verticale e una orizzontale.

Quest'ultima componente rende l'arco un sistema spingente in quanto le spalle tendono a ribaltarsi verso l'esterno per effetto di tale forza.

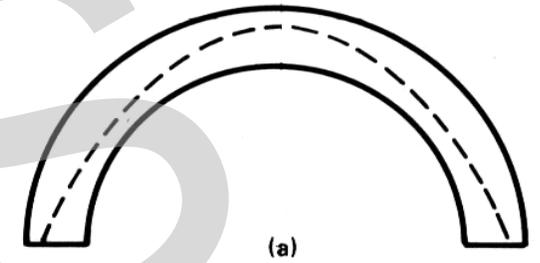
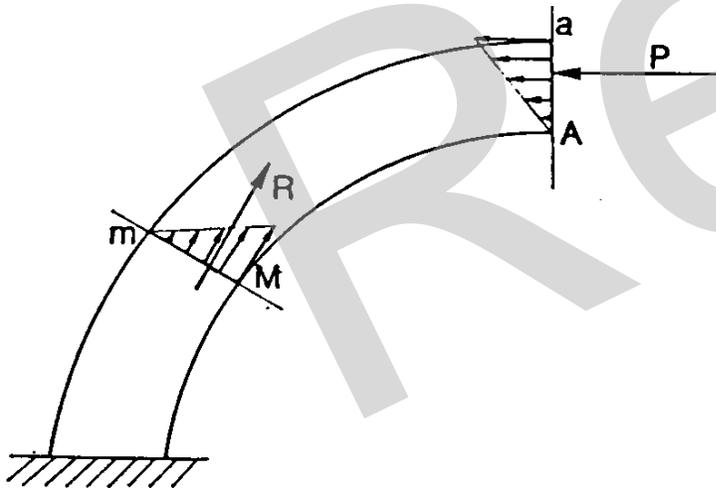


Ponti ad arco in muratura

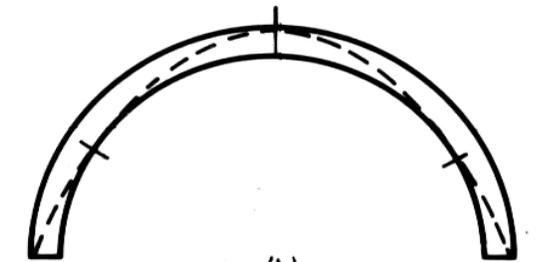
Funzionamento strutturale

La curva delle pressioni (linea la cui tangente in ciascun punto è coincidente con la retta d'azione della risultante di tutte le forze (reazioni vincolari interne), gode della proprietà che il momento rispetto ad un suo punto di tutte le forze che lo precedono è nullo) dovrà essere contenuta nello spessore murario per garantire l'equilibrio;

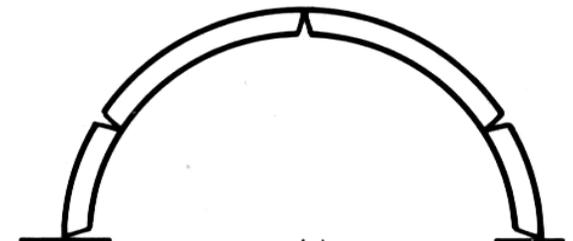
- ✓ se esce dal nocciolo (allontanandosi dalla linea media dell'arco) presumibilmente si osserveranno delle fessure, essendo la muratura non resistente a trazione;
- ✓ se è prossima al bordo il livello delle compressioni sarà rimarchevole;
- ✓ se è notevolmente inclinata rispetto all'asse (archi tozzi o meccanismi asimmetrici), l'attrito sarà decisivo per evitare i possibili scorrimenti tra i conci.



(a)



(b)

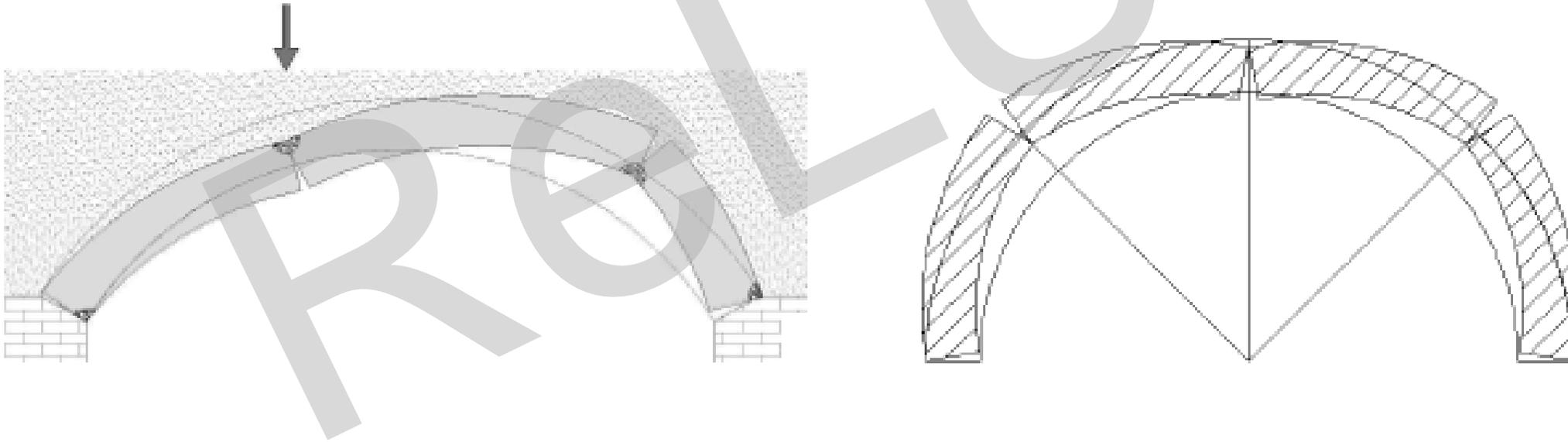


(c)

Ponti ad arco in muratura

Funzionamento strutturale

- Se la muratura nella struttura ad arco raggiunge un livello tensionale tale da oltrepassare il limite di resistenza a compressione o a taglio, l'arco collassa.
- Se la muratura supera il limite di resistenza a trazione, l'arco, pur fessurandosi, può rimanere in servizio (parzializzazione).
- Se la risultante si avvicina all'intradosso o estradosso si forma una cerniera, con rotazione relativa tra i conci.
- La formazione di un cinematismo richiede che si formino almeno 4 cerniere nell'arco (o nel sistema arco-piedritti).



Ponti ad arco in muratura

Patologie

Sono prevalentemente legate:

- All'età (strutture realizzate per lo più fino al 1930)
- All'aumento della frequenza, dell'intensità e della velocità dei carichi stradali
- Alle condizioni ambientali, anche conseguenti all'inquinamento
- Alle mutate condizioni idrografiche degli alvei
- Ai difetti di costruzione

Per quanto riguarda l'aumentato carico di esercizio (e ultimo), non è sempre possibile perseguire l'obiettivo dell'adeguamento alle nuove richieste normative.

In particolare per strutture monumentali si agisce al modo contrario: stabilito il grado di vulnerabilità raggiungibile nel rispetto delle caratteristiche architettoniche e statiche della struttura, va definito il grado di utilizzazione dell'opera.

Patologie dei materiali:

- dovute ad azioni ambientali di natura fisica
- dovute ad azioni ambientali di natura chimica

Patologie delle strutture

- dissesti delle fondazioni
- dissesti delle strutture in elevazione

Ponti ad arco in muratura

Patologie dei materiali

Degrado dovuto ad azioni ambientali di natura fisica

- Vegetazione
- Variazioni termiche e igrometriche
- Vibrazioni ambientali

Degrado dovuto ad azioni ambientali di natura chimica

- Invecchiamento della malta
- Umidità
- Agenti atmosferici



Ponti ad arco in muratura

Patologie delle strutture

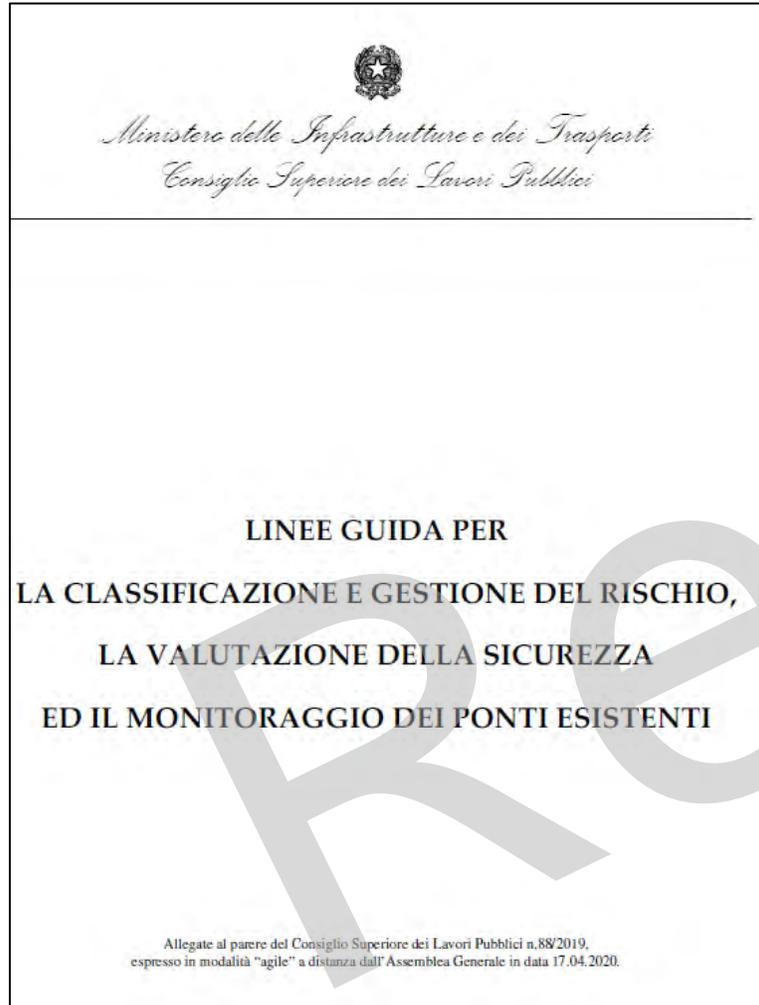
DANNI ALLE FONDAZIONI

- Affondamento e Scalzamento
- Dislocazioni di mattoni dovuti a erosione dei giunti
- Cedimenti differenziali delle fondazioni
- Movimenti delle pile o delle spalle

DANNI NELLA SOVRASTRUTTURA

- Deterioramento dei mattoni, efflorescenze, (spesso dovuti a insufficiente impermeabilizzazione, cicli gelo-disgelo, radicamento di vegetazione)
- Lesioni della volta
- Separazione tra i vari anelli
- Movimenti del timpano (scorrimenti, ringonfiamenti, distacchi)
- Separazione fra i conci per gli archi
- Fessurazioni nelle pile e nei muri di risvolto e andatori





PARTE I

1. INTRODUZIONE

- 1.1 PREMESSA GENERALE E SCOPO DELLE LINEE GUIDA
- 1.2 OBIETTIVI E STRUTTURA DELL'APPROCCIO MULTILIVELLO
- 1.3 DEFINIZIONE DEI LIVELLI DI ANALISI E RELAZIONI TRA ESSI
- 1.4 CENNI GENERALI SULLA VALUTAZIONE DELLA RILEVANZA TRASPORTISTICA
- 1.5 PRIORITARIZZAZIONE DELLE ATTIVITA'
- 1.6 MODELLI INFORMATIVI
- 1.7 COMPETENZE DEGLI OPERATORI
- 1.8 LABORATORI DI PROVA

2. LIVELLO 0. CENSIMENTO DELLE OPERE

- 2.1 OBIETTIVI DEL CENSIMENTO
- 2.2 MODALITÀ DI ACQUISIZIONE E DI RAPPRESENTAZIONE DEI DATI

3. LIVELLO 1. ISPEZIONI VISIVE E SCHEDE DI DIFETTOSITÀ

- 3.1 MODALITÀ E FINALITÀ DELLE ISPEZIONI VISIVE
- 3.2 SCHEDE DI RILIEVO E VALUTAZIONE DEI DIFETTI
- 3.3 DEFINIZIONE DEGLI ELEMENTI CRITICI
- 3.4 SCHEDA FRANE E IDRALICA
- 3.5 CASI IN CUI SONO NECESSARIE VALUTAZIONI ACCURATE E DI DETTAGLIO: DAL LIVELLO 1 AL LIVELLO 4
- 3.6 ISPEZIONI SPECIALI

4. LIVELLO 2. ANALISI DEI RISCHI RILEVANTI E CLASSIFICAZIONE SU SCALA TERRITORIALE

- 4.1 STRUTTURA GENERALE DEL METODO DI CLASSIFICAZIONE DELLA CLASSE DI ATTENZIONE
- 4.2 CLASSE DI ATTENZIONE STRUTTURALE E FONDAZIONALE
 - 4.2.1 STIMA DEL LIVELLO DI PERICOLOSITÀ STRUTTURALE E FONDAZIONALE
 - 4.2.2 STIMA DEL LIVELLO DI VULNERABILITÀ STRUTTURALE E FONDAZIONALE

3.2 SCHEDE DI RILIEVO E VALUTAZIONE DEI DIFETTI

- Allegato B: Schede difettosità
- Allegato C: Schede difettologiche

Ponti ad arco in muratura

Linee guida per i ponti esistenti: schede di rilievo dei difetti

Schede di Valutazione dei Difetti

1	Spalle	Calcestruzzo armato
2	Spalle	Muratura
3	Pile	Calcestruzzo armato
4	Pile	Muratura
5	Pile	Acciaio o Metallo
6	Apparecchi di appoggio	
7	Giunti	
8	Piedritti	Calcestruzzo Armato
9	Piedritti	Acciaio o Metallo
10	Archi	Calcestruzzo Armato
11	Archi	Muratura
12	Archi	Acciaio
13	Archi	Legno
14	Travi	Calcestruzzo Armato
15	Travi	Calcestruzzo Armato Precompresso
16	Travi	Acciaio o Metallo
17	Travi	Legno
18	Soletta	Calcestruzzo Armato
19	Soletta	Legno
20	Elementi Accessori	

Legenda		
PS	Pregiudica Statica	<i>spuntare se si ritiene che la presenza del difetto possa compromettere la statica dell'opera. È associato ai soli difetti di gravità 4 e 5</i>
NA	Non Applicabile	<i>spuntare se il difetto non è applicabile alla tipologia di manufatto in esame</i>
NR	Non Rilevabile	<i>spuntare se il difetto non si può rilevare mediante ispezione visiva (es. per presenza di vegetazione invasiva, zone non accessibili, ecc.)</i>
NP	Non Presente	<i>spuntare se il difetto non è stato rilevato</i>
N° FOTO		<i>Si riporti la numerazione digitale delle foto effettuate allo specifico difetto. Queste ultime sono adeguatamente catalogate, numerate e provviste di didascalie, riportanti la tipologia di difetto che si intende rappresentare e la sua localizzazione nel complesso strutturale; è necessaria, inoltre, una mappatura dei punti di ripresa fotografici.</i>

Allegato B – Schede di difettosità

Scheda Ispezione Ponti di Livello 1

2	Spalle	N _____	Strada di appartenenza: _____	Progressiva km: _____							
	Muratura	Tecnico rilevatore: _____		Data ispezione: ___/___/___							
Codice difetto	Descrizione difetto	visto	G	Estensione K1	Intensità K2	N° foto	PS	NA	NR	NP	Note
				0,2 0,5 1	0,2 0,5 1						
Mur_1	Fessure orizzontali	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Mur_2	Fessure verticali	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Mur_3	Fessure c										
Mur_9	Macchie										

Scheda Ispezione Ponti di Livello 1

4	Pile	N _____	Strada di appartenenza: _____	Progressiva km: _____							
	Muratura	Tecnico rilevatore: _____		Data ispezione: ___/___/___							
N°	Descrizione difetto	visto	G	Estensione K1	Intensità K2	N° foto	PS	NA	NR	NP	Note
				0,2 0,5 1	0,2 0,5 1						
Mur_1	Fessure orizzontali	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Mur_2	Fessure verticali	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Mur_3	Fessure diagonali	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Mur_9	Macchie di umidità / risalita	<input type="checkbox"/>									
Dif. Gen_1	Tracce di scolo	<input type="checkbox"/>									

Scheda Ispezione Ponti di Livello 1

11	Archi	N _____	Strada di appartenenza: _____	Progressiva km: _____							
	Muratura	Tecnico rilevatore: _____		Data ispezione: ___/___/___							
N°	Descrizione difetto	visto	G	Estensione K1	Intensità K2	N° foto	PS	NA	NR	NP	Note
				0,2 0,5 1	0,2 0,5 1						
Mur_1	Fessure orizzontali	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Mur_2	Fessure verticali	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Mur_3	Fessure diagonali	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Mur_7	Distacco del timpano	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Mur_9	Macchie di umidità / risalita	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Dif. Gen_1	Tracce di scolo	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Mur_10	Dilavamento	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Mur_4	Porzione di muratura mancante	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Mur_8	Riprese successive deteriorate	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Mur_11	Macchie di colore scuro	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Mur_12	Efflorescenze	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Mur_13	Patina biologica	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Mur_14	Polverizzazione	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Mur_15	Esfoliazione	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Mur_6	Fessure longitudinali	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Mur_5	Fessure trasversali	<input type="checkbox"/>	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Eventuali note											

Ponti ad arco in muratura

Linee guida per i ponti esistenti: schede di rilievo dei difetti

Schede di difettosità

Difetti Generali

Tracce di scolo
Ristagni di acqua
Urto
Danni in appoggio
Fuori piombo

Rilevati/Fondazione

Scalzamento
Dilavamento rilevato di approccio
Deformazione rilevato di approccio
Instabilità rilevato di approccio
Movimenti di fondazione

Elementi in muratura

Fessure orizzontali
Fessure verticali
Fessure diagonali
Blocchi mancanti
Fessure trasversali
Fessure longitudinali
Distacco del timpano
Riprese deteriorate
Macchie di umidità
Dilavamento
Macchie scure
Efflorescenza
Patina biologica
Polverizzazione
Esfoliazione

Ponti ad arco in muratura

Linee Guida - Allegato C – Rilevati e fondazioni

Schede difettologiche

N° difetto: Ril/Fond_1

Scalzamento

Peso del difetto

G = 1 G = 2 G = 3 G = 4 **G = 5**

Descrizione

Tale difetto deve essere indicato qualora siano visibili parti delle fondazioni, sia che esse siano dirette o indirette, a causa dell'abbassamento della quota del terreno che le circonda.

Per quanto concerne le fondazioni dirette, se si verifica il fenomeno, sia l'estensione sia l'intensità sono pari ad 1.

Per quanto riguarda le fondazioni su pali la valutazione del coefficiente di estensione è sempre pari ad 1, mentre l'intensità dello scalzamento può essere correlata all'altezza dello scalzamento (h_s) rispetto al nuovo piano di campagna e al diametro dei pali (d_p).

Cause

Lo scalzamento può derivare dall'erosione del letto e delle sponde dell'alveo o del rilevato di approccio, causata da fenomeni meteorologici o dal trasporto solido dei corsi d'acqua, dall'abbassamento dell'alveo per variazioni nella direzione della corrente, o da escavazioni artificiali. Tali fenomeni sono favoriti in assenza di una corretta progettazione degli elementi, in particolare di una quota di imposta della fondazione non abbastanza profonda, o in presenza di pile con forma e orientamento inadeguati.

Fenomeni di degrado correlati

Nel caso in cui lo scoprimento delle fondazioni non è uniforme, la presenza di scalzamento può essere indice di movimenti indesiderati della fondazione, quali **rotazione longitudinale** e **rotazione trasversale**.

Per fondazioni profonde			
Estensione k_1	Sempre =1		
Intensità k_2	0,2 ($h_s/d_p < 1$)	0,5 ($1 < h_s/d_p < 3$)	1 ($h_s/d_p > 3$)
Per fondazioni superficiali			
Estensione k_1	Sempre =1		
Intensità k_2	Sempre =1		



Meccanismo di collasso dovuto al cedimento e rotazione alla base della pila



Scavo localizzato alla base della pila

Ponti ad arco in muratura

Linee Guida - Allegato C – Rilevati e fondazioni

Schede difettologiche

N° difetto: Ril/Fond_1

Scalzamento

Peso del difetto

G = 1 G = 2 G = 3 G = 4 **G = 5**

Descrizione

Tale difetto deve essere indicato qualora siano visibili parti delle fondazioni, sia che esse siano dirette o indirette, a causa dell'abbassamento della quota del terreno che le circonda.

Per quanto concerne le fondazioni dirette, se si verifica il fenomeno, sia l'estensione sia l'intensità sono pari ad 1.

Per quanto riguarda le fondazioni su pali la valutazione del coefficiente di estensione è sempre pari ad 1, mentre l'intensità dello scalzamento può essere correlata all'altezza dello scalzamento (h_s) rispetto al nuovo piano di campagna e al diametro dei pali (d_p).

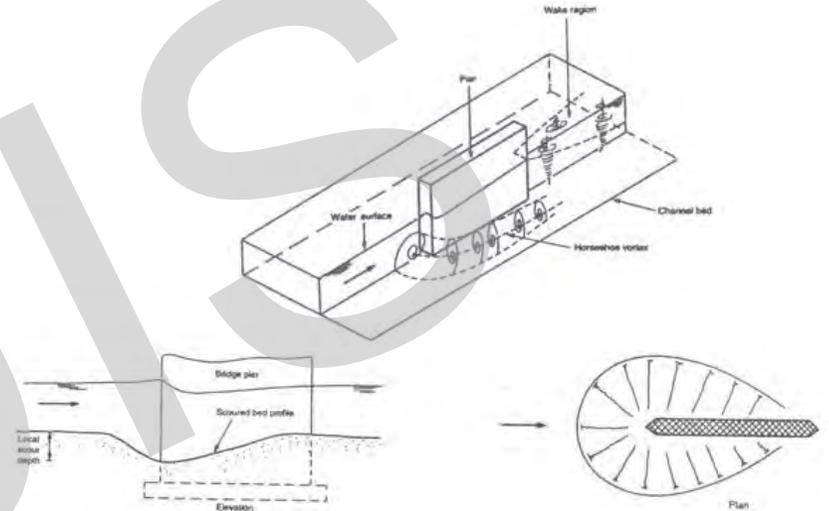
Cause

Lo scalzamento può derivare dall'erosione del letto e delle sponde dell'alveo o del rilevato di approccio, causata da fenomeni meteorologici o dal trasporto solido dei corsi d'acqua, dall'abbassamento dell'alveo per variazioni nella direzione della corrente, o da escavazioni artificiali. Tali fenomeni sono favoriti in assenza di una corretta progettazione degli elementi, in particolare di una quota di imposta della fondazione non abbastanza profonda, o in presenza di pile con forma e orientamento inadeguati.

Fenomeni di degrado correlati

Nel caso in cui lo scoprimento delle fondazioni non è uniforme, la presenza di scalzamento può essere indice di movimenti indesiderati della fondazione, quali **rotazione longitudinale** e **rotazione trasversale**.

Per fondazioni profonde			
Estensione k_1	Sempre =1		
Intensità k_2	0,2 ($h_s/d_p < 1$)	0,5 ($1 < h_s/d_p < 3$)	1 ($h_s/d_p > 3$)
Per fondazioni superficiali			
Estensione k_1	Sempre =1		
Intensità k_2	Sempre =1		



Crollo del Ponte sul fiume Tacina (ferrovie calabro-lucane)

Ponti ad arco in muratura

Linee Guida - Allegato C – Rilevati e fondazioni

Schede difettologiche

N° difetto: Ril/Fond_2

Dilavamento del rilevato di approccio

Peso del difetto

G = 1

G = 2

G = 3

G = 4

G = 5

Estensione k ₁	Sempre =1
Intensità k ₂	Sempre =1

Descrizione

Il difetto si riferisce all'azione erosiva esercitata dalle acque meteoriche sul materiale costituente il rilevato di approccio nella sua parte superficiale.



Cause

Tale fenomeno è dovuto principalmente all'errato o insufficiente smaltimento delle acque meteoriche.

Fenomeni di degrado correlati

Generalmente è associato a carenze nel sistema di convogliamento delle acque meteoriche.

Ponti ad arco in muratura

Linee Guida - Allegato C – Rilevati e fondazioni

Schede difettologiche

N° difetto: Ril/Fond_3

Dissesto del rilevato di approccio - *Deformazioni*

Peso del difetto

G = 1	G = 2	G = 3	G = 4	G = 5
-------	--------------	-------	-------	-------

Estensione k_1	Sempre =1		
Intensità k_2	0,2 ($d < 5\text{cm}$)	0,5 ($5\text{cm} < d < 15\text{cm}$)	1 ($d > 15\text{cm}$)

Descrizione

Il dissesto del rilevato rappresenta un'evoluzione dei cedimenti nel tempo eventualmente ancora in atto, con presenze di avvallamenti e cedimenti differenziali tra il rilevato e la struttura. Per quanto riguarda la valutazione del coefficiente di estensione, esso è sempre pari ad 1, mentre l'intensità può essere correlata distanza (d) intesa come altezza del gradino che si viene a formare.

Cause

Tale fenomeno è dovuto principalmente all'errata valutazione dei cedimenti ed al loro decorso nel tempo.

Fenomeni di degrado correlati

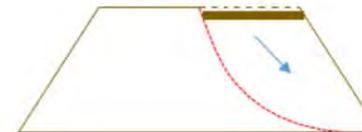
Generalmente è associato a modeste conseguenze sul rilevato. Tuttavia il fenomeno può comportare un aggravio dei carichi verticali sulle spalle (attrito negativo). Inoltre, il verificarsi di tale dissesto comporta motivi di pericolo per la circolazione.



Ponti ad arco in muratura

Linee Guida - Allegato C – Rilevati e fondazioni

Schede difettologiche	N° difetto: Ril/Fond_4				
Dissesto del rilevato di approccio - Stabilità					
Peso del difetto					
G = 1 G = 2 G = 3 G = 4 G = 5	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Estensione k_1</td> <td style="text-align: center;">Sempre =1</td> </tr> <tr> <td>Intensità k_2</td> <td style="text-align: center;">Sempre =1</td> </tr> </table>	Estensione k_1	Sempre =1	Intensità k_2	Sempre =1
Estensione k_1	Sempre =1				
Intensità k_2	Sempre =1				
Descrizione					
<p>Il dissesto del rilevato è conseguenza di movimenti gravitativi incipienti o in atto.</p>					
Cause					
<p>Tale fenomeno è dovuto principalmente a materiale del rilevato non idoneo e/o non ben compattato. Può essere causato anche da effetti della corrente del corso d'acqua sottostante (erosione della base della scarpata).</p>					
Fenomeni di degrado correlati					
<p>Generalmente non è associato a dissesti strutturali del ponte, ma solo a problematiche di circolazione stradale.</p>					



Ponti ad arco in muratura

Linee Guida - Allegato C – Rilevati e fondazioni

Schede difettologiche

N° difetto: Ril/Fond_5

Movimenti di fondazione

Peso del difetto

G = 1 G = 2 G = 3 G = 4 **G = 5**

Estensione k ₁	0,2 (appena presente)	0,5 (in qualche zona)	1 (ovunque)
Intensità k ₂	0,2 (accennato)	0,5 (intenso)	1 (rilevante)

Descrizione

Il difetto comprende:

- Rotazione longitudinale: rotazione della fondazione su un piano verticale passante per l'asse stradale;
- Rotazione trasversale: rotazione della fondazione su un piano verticale ortogonale all'asse stradale;
- Traslazione: spostamento della fondazione su un piano orizzontale;
- Abbassamento: spostamento della fondazione su un piano verticale.

Cause

I movimenti di rotazione e abbassamento possono essere dovuti sia a cedimenti differenziali della fondazione o del terreno, causati da eventi naturali, sia a cedimenti strutturali delle fondazioni, legati ad errori in fase di esecuzione e progettazione, quali un'errata valutazione dei carichi. Nel caso di traslazione, il movimento è indotto da spinte nel terreno causate da eventi naturali.

Fenomeni di degrado correlati

Tutti i movimenti in fondazione sono difficilmente rilevabili, per cui occorre dedurre la presenza da fenomeni di degrado ad essi correlati, quali presenza di gradini o aperture in corrispondenza dei giunti stradali, presenza di particolari lesioni se la struttura è iperstatica, eventuali fuori piombo degli elementi sostenuti. Nel caso di traslazione, occorre valutare, con indagini approfondite, se il movimento ha determinato il **tranciamento dei pali** per le sollecitazioni di flessione e taglio che il movimento genera su tali elementi. In generale, occorre sempre valutare se i movimenti abbiano creato rotture delle strutture di fondazione.



Fonte: PROGETTO RAM – Manuale di ispezione principale (Anas GRUPPO FS ITALIANE)

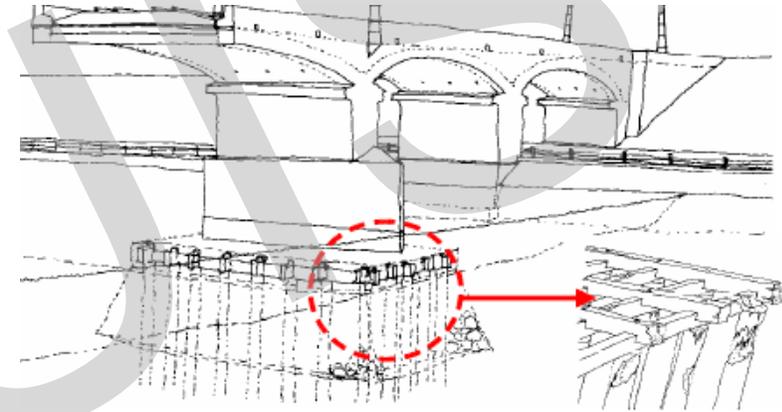
Ponti ad arco in muratura

Cedimenti e difetti di giunzione

Nelle fondazioni profonde i cedimenti possono essere legati all'imputridimento dei pali di legno per effetto della variazione nel livello di falda.

Nei ponti a più campate i cedimenti differenziali causano l'alternarsi di fenomeni di schiacciamento ed allentamento nei conci negli archi adiacenti.

I dissesti dovuti a problemi di giunzione sono legati in particolare a difetti tra la fondazione e il corpo pila o spalla e difetti all'imposta dell'arco. In questo caso il cattivo trasferimento in particolare della spinta orizzontale dell'arco determina dissesti nella struttura in elevazione.



da A. Brencich (2007)

Ponti ad arco in muratura

Movimenti di pile e spalle

Le spalle, sottoposte alla spinta del terrapieno da un lato e a quella della volta dall'altra, possono presentare rotazioni non trascurabili che possono indurre dissesti nella sovrastruttura.

Se la spinta dell'arco è maggiore di quella del terrapieno, si verifica il classico cedimento di spalla con conseguente abbassamento della chiave dell'arco (con evidenti quadri fessurativi all'intradosso) che per spostamenti eccessivi dà luogo al collasso della struttura.

Se la spinta del terrapieno supera quella dell'arco (per saturazione, ad esempio) la rotazione della spalla determina un avvicinamento delle imposte e una variazione dello stato tensionale nella volta, con modifica della curva delle pressioni. In questo caso le lesioni avvengono in maniera evidente all'intradosso delle imposte, mentre quelle all'estradosso della volta non sono visibili.

Le pile in presenza di spinte non equilibrate prodotte da due archi adiacenti possono presentare rotazioni sensibili e quindi essere soggette a sollecitazioni di tipo flessionale. Se una spalla ruota rispetto all'altra si riscontrano spesso lesioni diagonali nella volta che hanno origine alle imposte sui lati della volta e tendono verso la chiave.

Ponti ad arco in muratura

Linee Guida - Allegato C – Elementi in muratura

Schede difettologiche

N° difetto: Mur_1

Fessure orizzontali

Peso del difetto

G = 1	G = 2	G = 3	G = 4	G = 5		Sempre = 1		
					Estensione k ₁			
					Intensità k ₂	0,2 (capillare)	0,5 (qualche mm)	1 (qualche cm)

Descrizione

Questo tipo di difetto è riferito alle fessure con andamento prevalentemente orizzontale che possono manifestarsi sugli elementi verticali come spalle e pile e, nel caso dei ponti ad arco, su rinfianchi e timpani. Esse si sviluppano principalmente lungo i ricorsi di malta o, meno frequentemente, attraversano direttamente i mattoni o i blocchi di pietra.



Cause

Le fessure orizzontali localizzate su pile e spalle possono essere conseguenza di:

- cedimenti differenziali delle fondazioni;
- eccessiva spinta del terreno sulle spalle ;
- eventi sismici.

Nel caso di archi, fessure orizzontali alle imposte possono essere dovute a:

- carichi non simmetrici per ponti con un solo arco o tra campate contigue specie se di luce diversa (campate più lunghe o più caricate).

L'apertura di fessure è favorita dall'effetto delle vibrazioni ripetute indotte dal traffico.



Fenomeni di degrado correlati

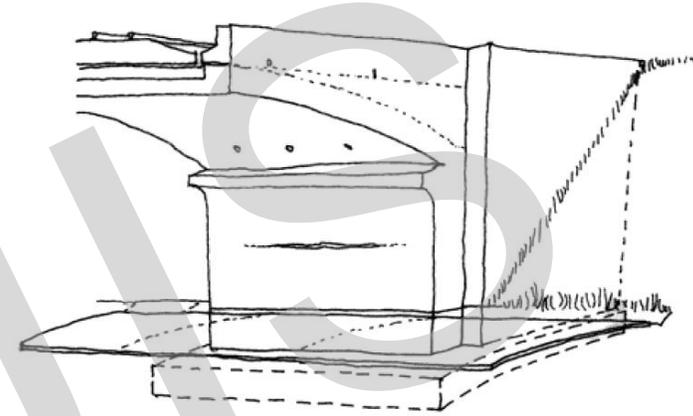
La presenza di lesioni facilita le infiltrazioni di acqua e degli agenti aggressivi che possono danneggiare la consistenza della muratura anche al suo interno, per cui potrebbero favorire la presenza di **macchie di umidità** e/o **dilavamento** della muratura.

Il difetto non deve essere confuso con altri tipi di stati fessurativi, quali **fessure verticali**, **diagonali**, o **distacchi di interi elementi strutturali** (distacco del timpano nei ponti ad arco), né con la **polverizzazione** dei corsi di malta.

Ponti ad arco in muratura

Fessure orizzontali

E' frequente negli archi ribassati caratterizzati da un rapporto $(f/L) < 1/6$ dove le spalle non sono in grado di resistere agli sforzi derivanti dalla volta.



Ponte «Tre Occhi», Amatrice Italia

Ponti ad arco in muratura

Linee Guida - Allegato C – Elementi in muratura

Schede difettologiche

N° difetto: Mur_2

Fessure verticali

Peso del difetto

G = 1	G = 2	G = 3	G = 4	G = 5							
					Estensione k ₁			Sempre = 1			
					Intensità k ₂		0,2 (capillare)		0,5 (qualche mm)		1 (qualche cm)

Descrizione

Ci si riferisce a fessure ad andamento prevalentemente verticale su pile, spalle e timpani. Esse possono seguire un andamento a zig-zag lungo i giunti di malta delle murature a blocchi, oppure avere un andamento continuo, tagliando i blocchi stessi, siano essi in pietra o in laterizio. A volte possono presentarsi come un insieme di piccole fessure ravvicinate; in questo caso deve esserne analizzata nel dettaglio la geometria.

Cause

Le fessure verticali in generale si localizzano in presenza di discontinuità geometriche o del materiale e possono essere dovute a:

- cedimenti differenziali delle fondazioni;
- cedimenti/rotazioni delle strutture di contenimento;
- collasso per schiacciamento della muratura in particolare su pile / spalle molto alte o molto caricate.

Fenomeni di degrado correlati

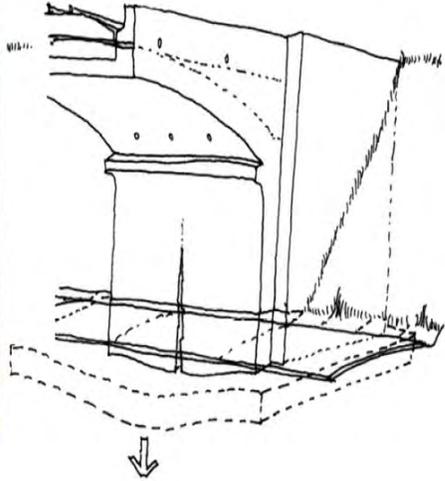
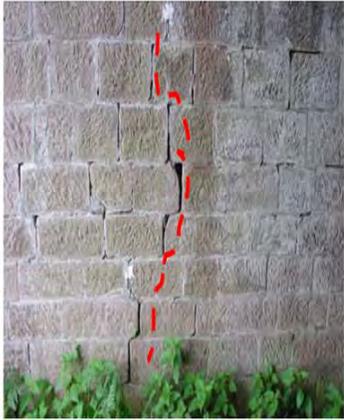
La presenza di lesioni facilita le infiltrazioni di acqua e degli agenti aggressivi attraverso il materiale, per cui potrebbero favorire la presenza di **macchie di umidità** e/o **dilavamento** della muratura.

Il difetto non deve essere confuso con altri tipi di stati fessurativi, quali **fessure orizzontali**, **diagonali**, o **distacchi di interi elementi strutturali** (distacco del timpano nei ponti ad arco), né con la **polverizzazione** dei corsi di malta.



Ponti ad arco in muratura

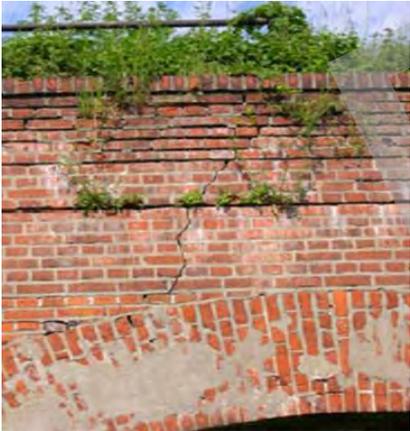
Fessure verticali



Fessurazione verticale della spalla, tipico di ponte oggetto di scalzamento fondazionale



Fessurazione localizzata tra spalla e muro laterale; frequente nei ponti ad arco caratterizzati da muri laterali di una certa altezza e soggetti ad instabilità del terreno di riempimento



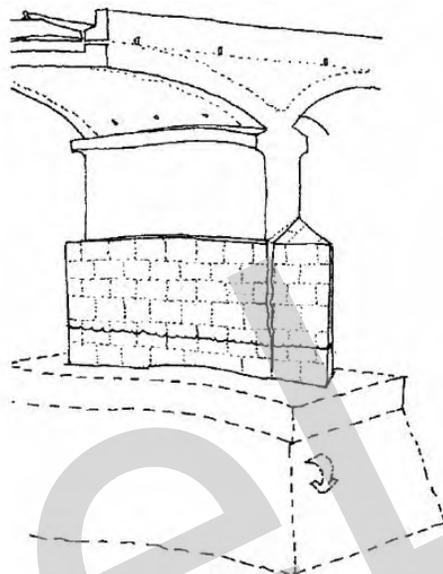
Fessurazione verticale del timpano

Ponti ad arco in muratura

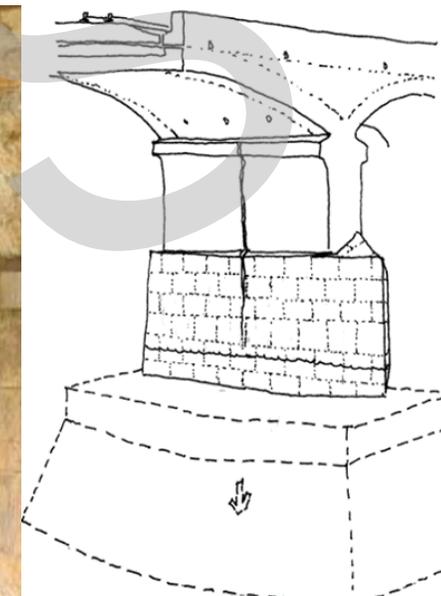
Fessure verticali



Fessurazione localizzata nell'unione tra la pila e l'elemento di protezione quando le due parti non sono state costruite e collegate omogeneamente.



Fessurazione verticale della pila, tipico di ponte oggetto di scalzamento fondazionale



Ponti ad arco in muratura

Linee Guida - Allegato C – Elementi in muratura

Schede difettologiche

N° difetto: Mur_3

Fessure diagonali

Peso del difetto

G = 1	G = 2	G = 3	G = 4	G = 5	Estensione k_1	Sempre = 1		
					Intensità k_2	0,2 (capillare)	0,5 (qualche mm)	1 (qualche cm)

Descrizione

Si tratta di fessure ad andamento inclinato rispetto alla verticale, che possono svilupparsi seguendo a zig-zag i giunti di malta orizzontali e verticali per i ponti in muratura di mattoni o a conci di pietra squadrata, o attraversando in modo continuo gli elementi in pietra/laterizio. A volte possono presentarsi come un insieme di piccole fessure ravvicinate; in questo caso deve esserne analizzata nel dettaglio la geometria per capire se siano state originate da un moto di traslazione o un moto di rotazione tra blocchi rigidi.



Cause

Le fessure diagonali possono essere dovute a:

- cedimenti differenziali delle fondazioni;
- scalzamenti locali alla base (provocati da piene);
- eccessiva spinta del terreno sulle spalle.

L'apertura di fessure è favorita dall'effetto delle vibrazioni ripetute indotte dal traffico.



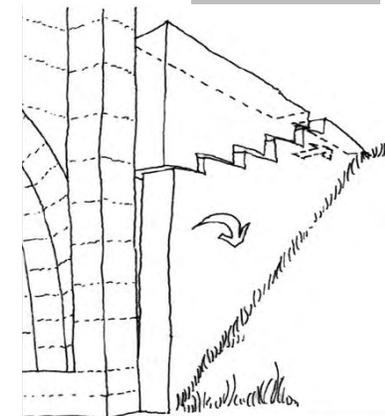
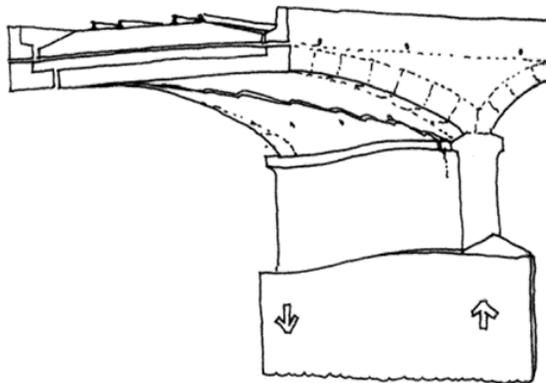
Fenomeni di degrado correlati

La presenza di lesioni facilita le infiltrazioni di acqua e degli agenti aggressivi attraverso il materiale, per cui potrebbe favorire la presenza di **macchie di umidità** e/o **dilavamento** della muratura.

Il difetto non deve essere confuso con altri tipi di stati fessurativi, quali **fessure orizzontali, verticali, o distacchi di interi elementi strutturali** (distacco del timpano nei ponti ad arco), né con la **polverizzazione** dei corsi di malta.

Ponti ad arco in muratura

Fessure diagonali



Nella parte centrale della volta, attraversandola diagonalmente. Frequente nei ponti sghembi con resistenza inadeguata dei giunti di malta.

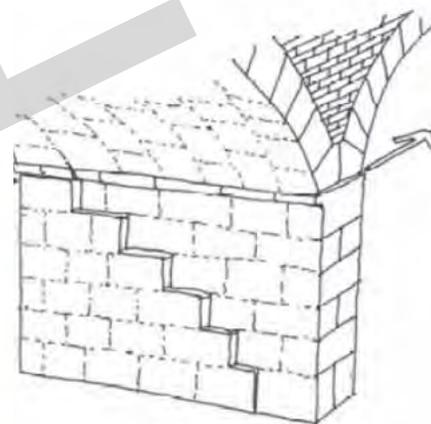
Danneggiamento localizzato nei muri laterali e nei muri d'ala. Si può verificare in tutti i tipi di ponte, specialmente per quelli caratterizzati da muri di altezza elevata. Insufficiente resistenza alla spinta dovuta alla pressione generata dal materiale di riempimento.



Fessura diagonale del timpano



Fessura diagonale della pila



Ponti ad arco in muratura

Linee Guida - Allegato C – Elementi in muratura

Schede difettologiche

N° difetto: Mur_4

Porzione di muratura mancante

Peso del difetto

G = 1	G = 2	G = 3	G = 4	G = 5	
					Estensione k ₁
					0,2 (appena presente)
					0,5 (~50% superficie)
					1 (~tutta la superficie)
					Intensità k ₂
					Sempre = 1

Descrizione

Il difetto si evidenzia per la mancanza o la rottura di mattoni o blocchi in pietra appartenenti agli elementi strutturali del manufatto.

Cause

Se la mancanza di porzione di muratura è localizzata in corrispondenza di fessure allora può essere dovuta a:

- tensioni o spostamenti che hanno generato tali fessure.

Se la mancanza di porzione di muratura è localizzata altrove può essere dovuta a:

- Urti;
- disfacimento della malta per cattiva qualità o per effetti di piene;
- deterioramento dei materiali dovuti all'effetto del tempo;
- presenza di vegetazione infestante (edera, capperi..) che in concomitanza con gli agenti atmosferici facilita la disgregazione della muratura.



Fenomeni di degrado correlati

Se le porzioni di muratura mancanti progrediscono nel tempo, si potrebbe avere una **riduzione della sezione resistente**, molto pericolosa se si sviluppa su elementi strutturali primari. Quando si presenta sui muri di timpano non diminuisce la capacità portante dell'arco ma, se diffusa, può innescare un cedimento di tale elemento con fuoriuscita del riempimento e conseguente avvallamento della sede stradale. Spesso dove mancano porzioni di muratura, si riscontra anche la presenza di **polverizzazione**.

Ponti ad arco in muratura

Porzione di muratura mancante



Distacco conci di pietra



Porzione di muratura mancante



Dislocazione



Ponti ad arco in muratura

Linee Guida - Allegato C – Elementi in muratura

Schede difettologiche

N° difetto: Mur_5

Fessure trasversali

Peso del difetto

G = 1	G = 2	G = 3	G = 4	G = 5	Estensione k ₁	Sempre = 1		
					Intensità k ₂	0,2 (capillare)	0,5 (qualche mm)	1 (qualche cm)

Descrizione

Per fessure trasversali si intendono le lesioni che possono presentarsi all'intradosso della volta, con andamento prevalente lungo la direttrice dell'arco, trasversalmente all'asse stradale. Generalmente esse interessano i giunti di malta.

Cause

Le fessure trasversali possono essere generate :

- cedimenti differenziali delle fondazioni;
- eccessiva spinta del terreno sulle spalle o eventi sismici;
- se la fessura è in chiave all'arco può essere indice di una insufficienza statica per carichi verticali.

Se si localizzano alle imposte possono essere dovute a:

- carichi non simmetrici tra campate contigue (campate più lunghe o più caricate). In questo caso sono il segno della formazione di una cerniera cilindrica dovuta ad eccesso di flessione;
- uno scorrimento tra conci contigui causato da un'eccessiva forza di taglio, più raramente.

Fenomeni di degrado correlati

La presenza di lesioni facilita le infiltrazioni di acqua e degli agenti aggressivi attraverso il materiale, per cui potrebbe favorire la presenza di **macchie di umidità** e/o **dilavamento** della muratura.

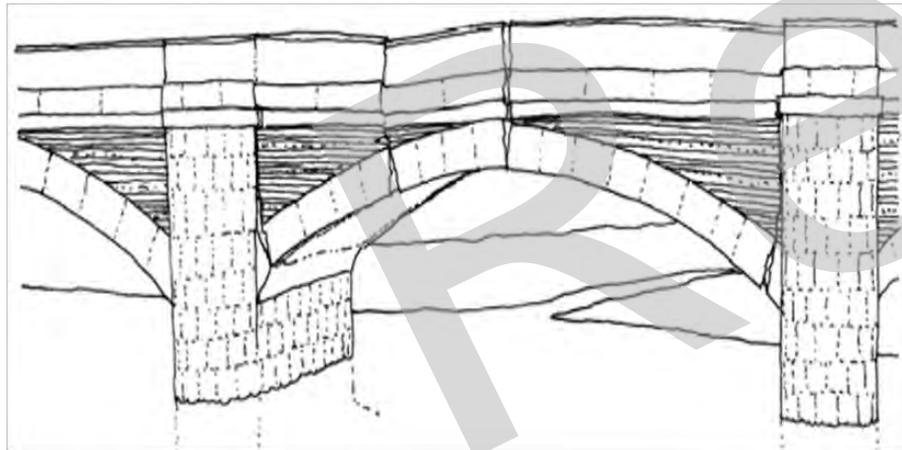
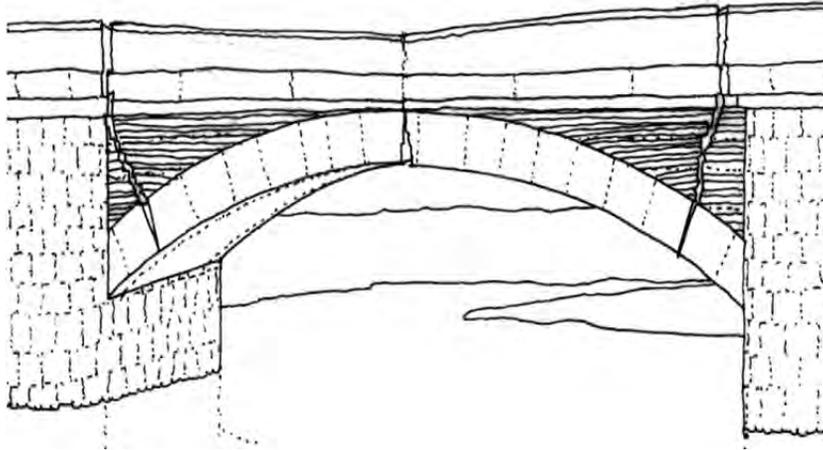
Il difetto non deve essere confuso con altri tipi di stati fessurativi, quali **fessure orizzontali**, **verticali** o **diagonali**, che sono tipici di elementi verticali quali pile, spalle e timpani, e **fessure longitudinali**, che si sviluppano sull'arco ma lungo la direzione ortogonale.



Ponti ad arco in muratura

Fessure trasversali

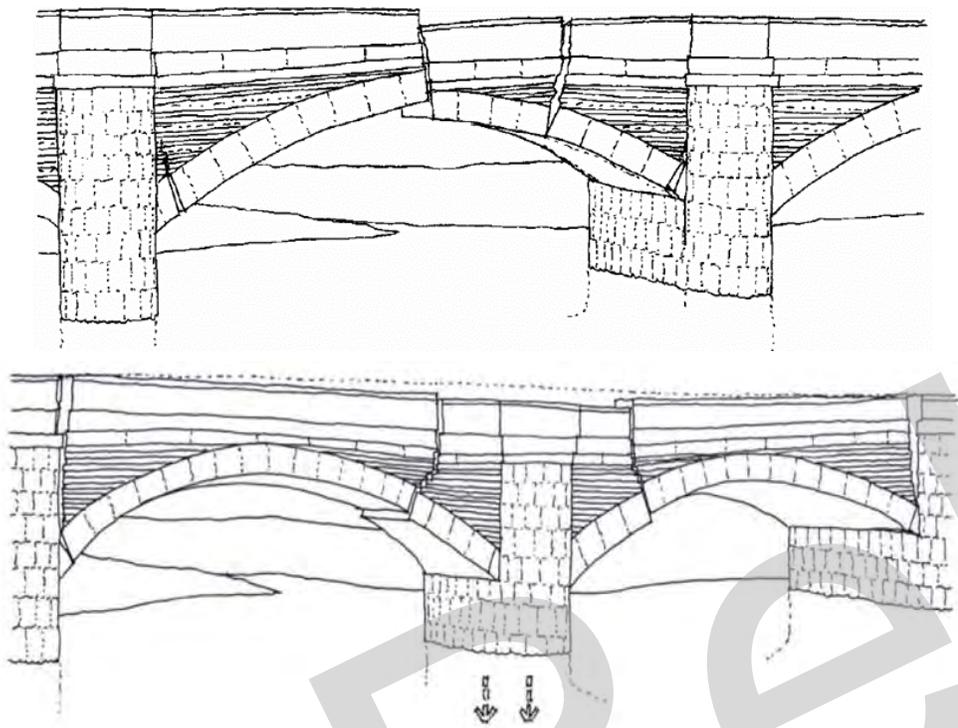
Formazione di fessure trasversali nell'intradosso dell'arco in prossimità delle mensole d'appoggio e all'estradosso in prossimità della chiave di testa (3 cerniere); si verifica in particolare in quelli caratterizzati da pile snelle e volte ribassate



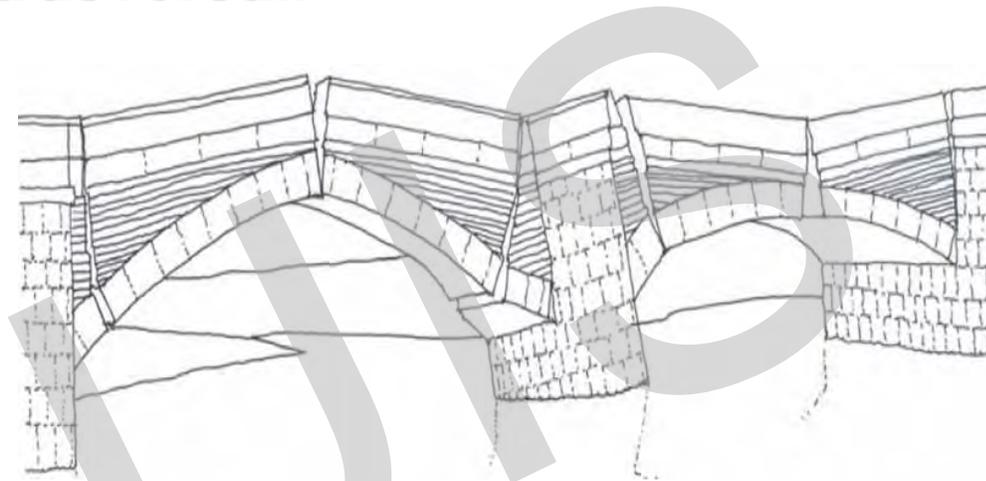
Fessurazione alternata dell'arco nell'intradosso e nell'estradosso in quattro punti localizzati (4 CERNIERE), interessa la singola campata. Si può verificare in qualsiasi tipo di ponte, in particolare è frequente negli archi di spessore ridotto e con volte ribassate.

Ponti ad arco in muratura

Fessure trasversali



Formazione alternata di fessure trasversali nell'intradosso e nell'estradosso in tre punti dell'arco. Questa forma di danneggiamento può avvenire in diverse tipologie di arco, in particolare è frequente in archi ribassati caratterizzati da questo rapporto $(f/L) < 1/6$.



Formazione di fessure alternativamente all'estradosso e all'intradosso in due archi adiacenti che posano sulla stessa pila;

Fenomeno più frequente nei ponti multi campata caratterizzati da pile snelle ($b/L > 1/5$) posizionate all'interno dell'alveo, e di ponti con volte ribassate ($f/L < 1/6$). Dovuto a rotazione della pila centrale causato dallo scalzamento della fondazione e da eventuali cedimenti del terreno sottostante.

Ponti ad arco in muratura

Linee Guida - Allegato C – Elementi in muratura

Schede difettologiche

N° difetto: Mur_6

Fessure longitudinali

Peso del difetto

G = 1	G = 2	G = 3	G = 4	G = 5
-------	-------	-------	-------	-------

Estensione k ₁	0,2 (< ¼ della luce)	0,5 (< ½ della luce)	1 (> ½ della luce)
Intensità k ₂	0,2 (capillare)	0,5 (qualche mm)	1 (qualche cm)

Descrizione

Questo tipo di difetto è riferito a fessure ad andamento circonferenziale che si presentano all'intradosso dell'arco, che quindi seguono l'andamento longitudinale dell'asse stradale. Le fessure possono interessare sia i giunti di malta sia gli elementi lapidei o di laterizio, che costituiscono la tessitura muraria.

Cause

Le fessure longitudinali trovano spesso origine per:

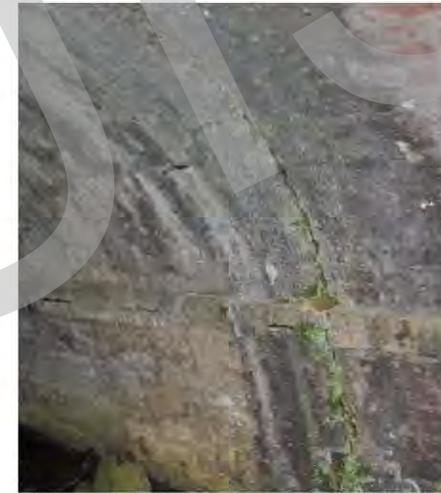
- cedimenti differenziali delle fondazioni in direzione trasversale;
- condizioni di carico fortemente sbilanciate (tracciati curvilinei);
- discontinuità del manufatto con volte realizzate a settori affiancati.

In prossimità dei bordi dell'arco possono essere associate al distacco del timpano.

Fenomeni di degrado correlati

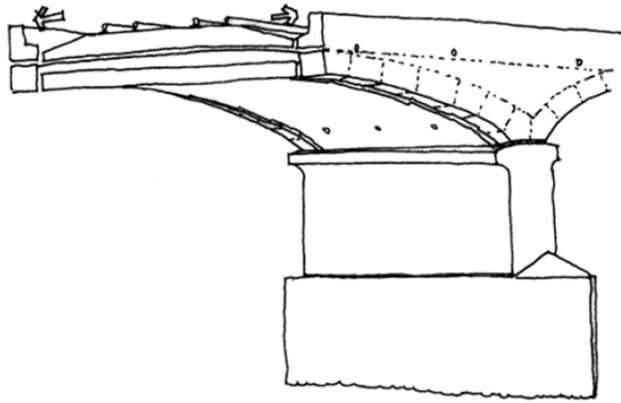
La presenza di lesioni facilita le infiltrazioni di acqua e degli agenti aggressivi attraverso il materiale, per cui potrebbe favorire la presenza di **macchie di umidità** e/o **dilavamento** della muratura.

Il difetto non deve essere confuso con altri tipi di stati fessurativi, quali **fessure orizzontali**, **verticali** o **diagonali**, che sono tipici di elementi verticali quali pile, spalle e timpani, e **fessure trasversali**, che si sviluppano sull'arco ma lungo la direzione ortogonale.

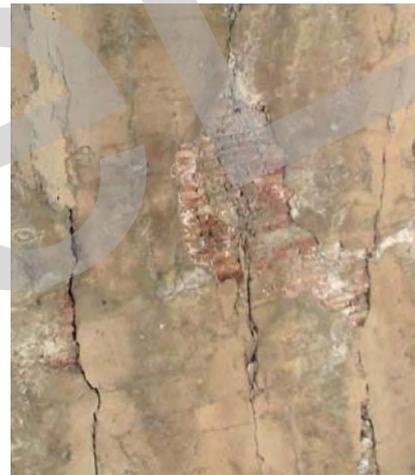
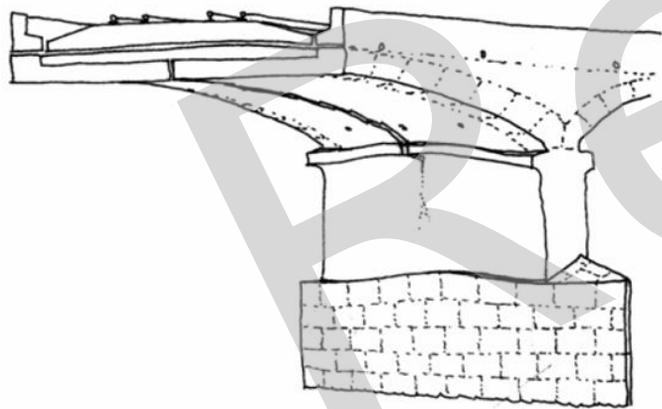


Ponti ad arco in muratura

Fessure longitudinali



La differente rigidezza dei timpani rispetto alle volte (relativamente più deformabili) può determinare la separazione tra l'armilla ed il resto della volta, a causa degli sforzi prodotti dai carichi



Fessurazioni lungo la parte centrale della volta, frequente nei ponti in muratura con asimmetria del carico dei binari rispetto all'asse.

Ponti ad arco in muratura

Linee Guida - Allegato C – Elementi in muratura

Schede difettologiche

N° difetto: Mur_7

Distacco del timpano

Peso del difetto

G = 1	G = 2	G = 3	G = 4	G = 5	Estensione k ₁	Sempre = 1		
					Intensità k ₂	0,2 (modesto)	0,5 (qualche mm)	1 (qualche cm)

Descrizione

Per timpano si intende la parte verticale ai lati della struttura sovrastante l'elemento strutturale portante dell'arco, che racchiude il materiale di riempimento. Quest'ultimo, a volte, offre un notevole contributo alla capacità portante del ponte. Il difetto si riferisce al distacco di tale elemento dall'arco sottostante.

Cause

Il distacco del timpano può essere provocato da:

- movimenti differenziali delle fondazioni
- effetti di sovraccarichi non previsti;
- spinta del materiale di riempimento sul timpano;
- presenza di vegetazione con radici spingenti;
- infiltrazioni di acqua con conseguenti cicli di gelo/disgelo.

Il fenomeno è esaltato dalla mancanza di un efficace collegamento tra l'arco e il timpano.

Fenomeni di degrado correlati

La presenza di lesioni facilita le infiltrazioni dell'acqua e degli agenti aggressivi attraverso il materiale, per cui potrebbe favorire la presenza di **macchie di umidità** e/o **dilavamento** della muratura.

Il difetto non deve essere confuso con altri tipi di stati fessurativi, quali **fessure orizzontali, verticali, diagonali, trasversali o longitudinali**, essendo riferito ad una localizzazione ben precisa, in corrispondenza della superficie di contatto tra timpano e arco.



Ponti ad arco in muratura

Distacco del timpano



Ponti ad arco in muratura

Linee Guida - Allegato C – Elementi in muratura

Schede difettologiche

N° difetto: Mur_8

Riprese successive deteriorate

Peso del difetto

G = 1	G = 2	G = 3	G = 4	G = 5	Estensione k ₁	Sempre = 1
					Intensità k ₂	Sempre = 1

Descrizione

Il difetto si presenta nelle zone in cui sono stati eseguiti interventi per nascondere fenomeni di degrado e lesioni senza tuttavia eliminarne le cause scatenanti, per cui con il passare del tempo il difetto si ripresenta con le stesse caratteristiche.



Cause

Questo tipo di difetto è dovuto a:

- interventi di riparazione errata o sommaria;
- ripristino che ha operato solo sugli effetti ma non sulle cause.



Fenomeni di degrado correlati

A questo tipo di difetto sono correlati i fenomeni di degrado propri del difetto originale non correttamente ripristinato.

Ponti ad arco in muratura

Linee Guida - Allegato C – Elementi in muratura

Schede difettologiche

N° difetto: Mur_9

Macchie di umidità/risalita

Peso del difetto

G = 1	G = 2	G = 3	G = 4	G = 5	Estensione k_1	0,2 (appena presente)	0,5 (~50% superficie)	1 (~tutta la superficie)
					Intensità k_2	Sempre = 1		

Descrizione

Il difetto si presenta con macchie di colore pressoché uniforme ma in generale più scure rispetto alla muratura circostante integra. Tali macchie hanno forma molto variabile, che può dipendere sia dall'origine dell'umidità che le genera sia dal tipo di tessuto murario. Per esempio, sulle murature miste generalmente si presentano in modo disomogeneo a seconda dei vari materiali con cui esse sono realizzate (pietra, laterizio, ecc.).

Cause

La formazione delle macchie di umidità nel tessuto murario è principalmente dovuta a:

- risalita capillare di umidità dal suolo (macchie di risalita). In questo caso esse sono localizzate nella parte bassa della muratura;
- penetrazione di acqua meteorica, dovuta a sistemi di convogliamento delle acque assenti, inadeguati o danneggiati (macchie di umidità).

Fenomeni di degrado correlati

Il progredire di tale fenomeno di degrado, soprattutto dovuto al mal funzionamento dei sistemi di convogliamento delle acque, potrebbe comportare l'innescarsi di **fenomeni di dilavamento** della muratura.



Ponti ad arco in muratura

Macchie di umidità e risalita



Ponti ad arco in muratura

Linee Guida - Allegato C – Elementi in muratura

Schede difettologiche

N° difetto: Mur_10

Dilavamento

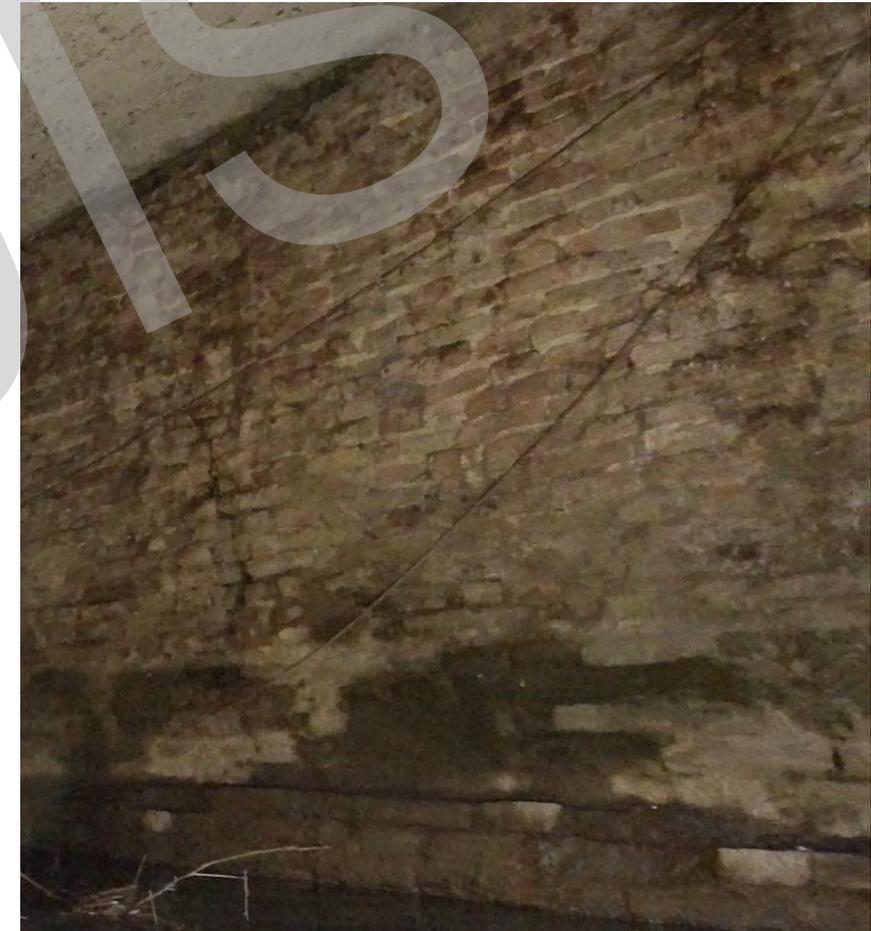
Peso del difetto

G = 1	G = 2	G = 3	G = 4	G = 5
Estensione k ₁		0,2 (appena presente)	0,5 (~50% superficie)	1 (~tutta la superficie)
Intensità k ₂		Sempre = 1		

Descrizione

Il dilavamento della muratura si manifesta con macchie di colore più scuro rispetto alla parte integra, generalmente alternate ad altre di colore biancastro, dovute all'accumulo di depositi di calcare, il cui andamento ricalca il percorso dell'acqua sulla superficie.

Esse possono trovarsi localizzate in punti specifici delle superfici murarie o manifestarsi su una superficie più ampia, sotto forma di striature disomogenee o stalattiti calcaree.



Cause

Il dilavamento è provocato dagli effetti delle acque meteoriche, nel caso in cui esse non siano adeguatamente allontanate dalle superfici murarie. Pertanto, l'origine del fenomeno è da ricercare nella mancanza/inadeguatezza/danneggiamento dei sistemi di convogliamento o di altri elementi da cui può avvenire infiltrazione di acqua, quali scossaline o giunti.

Fenomeni di degrado correlati

I fenomeni di dilavamento e di ammaloramento della muratura sono la naturale evoluzione delle **macchie di umidità**. Il loro progredire può portare ad una **riduzione della sezione resistente**, pericolosa se si sviluppa su elementi strutturali primari.

Ponti ad arco in muratura

Linee Guida - Allegato C – Elementi in muratura

Schede difettologiche

N° difetto: Mur_11

Macchie di colore scuro

Peso del difetto

G = 1	G = 2	G = 3	G = 4	G = 5	Estensione k ₁	0,2 (appena presente)	0,5 (~50% superficie)	1 (~tutta la superficie)
					Intensità k ₂	Sempre = 1		

Descrizione

Il difetto è un'alterazione dello strato superficiale del materiale lapideo che spesso si presenta di colore diverso (*crosta nera*) e con durezza e fragilità maggiore rispetto allo strato sottostante o al materiale non ammalorato. Lo strato superficiale ammalorato tende a staccarsi spontaneamente dal materiale sottostante. Spesso si forma in zone riparate dalla pioggia e dal vento.



Cause

La formazione della crosta nera è dovuta all'effetto combinato di fenomeni termoigrometrici e azioni chimiche: le pietre si raffreddano più velocemente dell'aria, per cui l'aria calda e umida tende a condensare sulla superficie. A causa del processo chimico che si innesca con l'anidride solforosa presente in atmosfera, si forma uno strato di gesso che, cristallizzando, dà luogo alle cosiddette croste nere.

Fenomeni di degrado correlati

A questo difetto si può associare una lenta ma progressiva riduzione della sezione resistente. Non deve essere confuso con le **patine biologiche**.

Ponti ad arco in muratura

Linee Guida - Allegato C – Elementi in muratura

Schede difettologiche

N° difetto: Mur_12

Efflorescenze

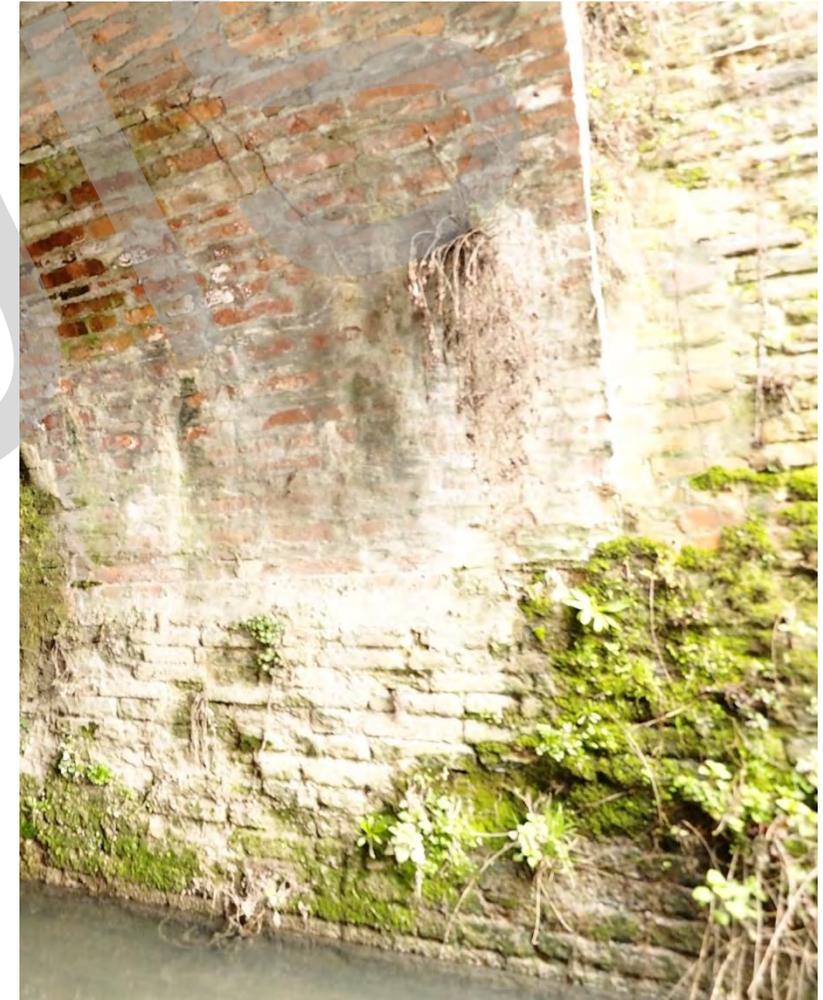
Peso del difetto

G = 1 G = 2 G = 3 G = 4 G = 5

Estensione k ₁	0,2 (appena presente)	0,5 (~50% superficie)	1 (~tutta la superficie)
Intensità k ₂	Sempre = 1		

Descrizione

Il difetto è dovuto alla formazione di una patina biancastra e cristallina sulla superficie della struttura che può presentarsi in forma pulverulenta o filamentosa. Quando si tratta di efflorescenze di tipo salino, la cristallizzazione avviene all'interno del materiale provocando il distacco delle parti più superficiali; in tal caso si parla di cripto-efflorescenza o sub-efflorescenza.



Cause

La formazione delle efflorescenze può essere dovuta a:

- fenomeni termoigrometrici e chimici: l'acqua che penetra all'interno di un paramento murario contiene sali minerali disciolti in essa (cloruri, solfati, nitrati). Questi ultimi, quando l'acqua evapora, si depositano sulla superficie, cristallizzando e accumulandosi nel tempo.

Il fenomeno è tipico delle zone esposte a sole e vento, dove l'evaporazione è facilitata.

Fenomeni di degrado correlati

A questo fenomeno si associa una lenta ma progressiva riduzione della sezione resistente che favorisce un'ulteriore infiltrazione di umidità all'interno della muratura. Non deve essere confuso con le **macchie di umidità/risalita**.

Ponti ad arco in muratura

Linee Guida - Allegato C – Elementi in muratura

Schede difettologiche

N° difetto: Mur_13

Patina biologica

Peso del difetto

G = 1 G = 2 G = 3 G = 4 G = 5

Estensione k ₁	0,2 (appena presente)	0,5 (~50% superficie)	1 (~tutta la superficie)
Intensità k ₂	Sempre = 1		

Descrizione

La patina biologica è costituita da microrganismi a cui possono aderire polvere, terriccio, ecc., i quali formano uno strato sottile, morbido ed omogeneo, aderente alla superficie, di colore variabile, ma per lo più verde.

Rientra in questo tipo di difetto anche la presenza di vegetazione invasiva. La vegetazione invasiva se particolarmente rigogliosa provoca la disgregazione della malta e la conseguente riduzione dell'ammorsamento tra i blocchi o le pietre (effetto leva delle radici).



Cause

La formazione della patina biologica è dovuta a:

- presenza di umidità o acqua sulla muratura;
- presenza di suolo che contiene humus.

Fenomeni di degrado correlati

Il difetto può portare alla formazione di **macchie di umidità/risalita**. La presenza di vegetazione con radici spingenti spesso provoca il **distacco di porzioni di materiale** o la formazione di **fessure** di vario tipo.



Ponti ad arco in muratura

Linee Guida - Allegato C – Elementi in muratura

Schede difettologiche

N° difetto: Mur_14

Polverizzazione

Peso del difetto

G = 1 G = 2 **G = 3** G = 4 G = 5

Estensione k ₁	0,2 (appena presente)	0,5 (~50% superficie)	1 (~tutta la superficie)
Intensità k ₂	0,2 (profondità < 1 cm)	0,5 (profondità < 5 cm)	1 (profondità > 5 cm)

Descrizione

La polverizzazione si manifesta con la caduta spontanea del materiale, costituente i giunti di malta o gli elementi lapidei, in forma di polvere o granuli.



Cause

La polverizzazione è dovuta alla reazione chimica tra i gas presenti in atmosfera, l'acqua e i componenti delle malte che comporta la formazione di sali debolmente solubili, i quali vanno ad aggredire il reticolo cristallino delle malte/elementi lapidei causandone la rottura e quindi la polverizzazione.



Fenomeni di degrado correlati

Questo fenomeno avanza rapidamente e può portare al difetto di **porzione di muratura mancante** e quindi ad una **riduzione della sezione resistente**, pericolosa se si sviluppa su elementi strutturali primari.

Ponti ad arco in muratura

Linee Guida - Allegato C – Elementi in muratura

Schede difettologiche

N° difetto: Mur_15

Esfoliazione

Peso del difetto

G = 1 G = 2 G = 3 G = 4 G = 5

Estensione k ₁	0,2 (appena presente)	0,5 (~50% superficie)	1 (~tutta la superficie)
Intensità k ₂	Sempre = 1		

Descrizione

Il difetto si manifesta con il distacco di uno o più strati superficiali approssimativamente paralleli fra loro (sfoglie). Tali parti distaccate assumono spesso forme specifiche in funzione delle caratteristiche strutturali e di tessitura. Le sfoglie sono usualmente di spessore che varia tra qualche millimetro e qualche centimetro.

Cause

L'esfoliazione del materiale è dovuta a:

- fenomeni di umidità ascendente, formazione di ghiaccio negli strati più superficiali;
- perdite localizzate degli impianti di smaltimento e/o di convogliamento delle acque;
- consistente presenza di formazione saline e efflorescenze;
- dilatazioni differenziali tra materiali di supporto e finitura.

Fenomeni di degrado correlati

A questo fenomeno si associa una lenta ma progressiva riduzione della sezione resistente oltre a favorire un'ulteriore infiltrazione di umidità all'interno della muratura.



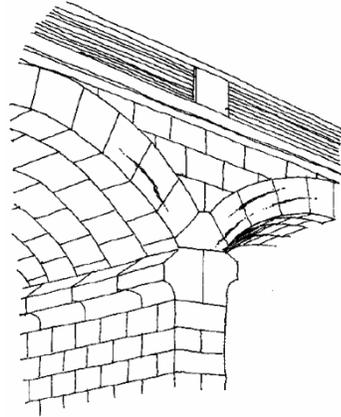
La formazione di ghiaccio risulta essere una delle cause dell'esfoliazione



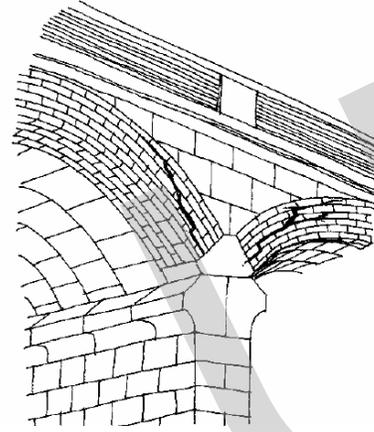
Ponti ad arco in muratura

Dissesti non esplicitamente previste dalle Linee Guida

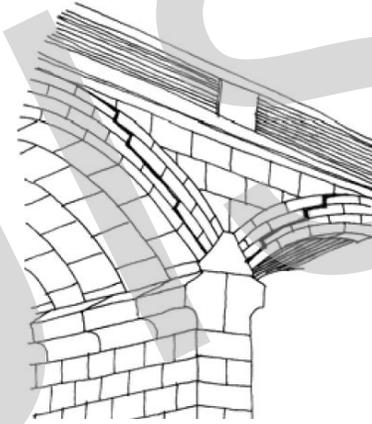
Rottura della muratura in prossimità dell'imposta o all'intradosso dell'arco dove la tensione di compressione ha valori elevati.



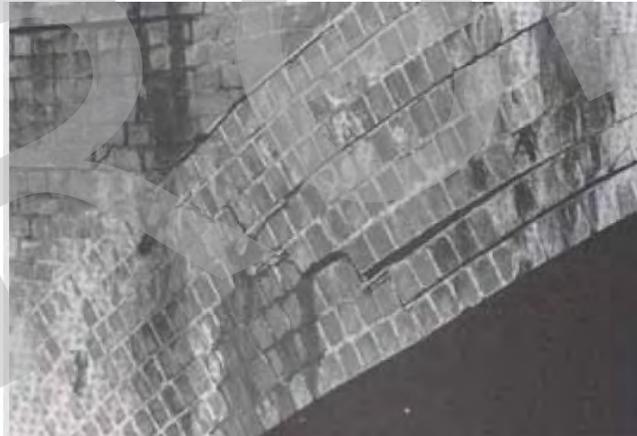
ROTTURA PER RAGGIUNGIMENTO DELLA TENSIONE DI COMPRESSIONE LIMITE



ROTTURA PER COMBINAZIONE FLESSIONE-TAGLIO

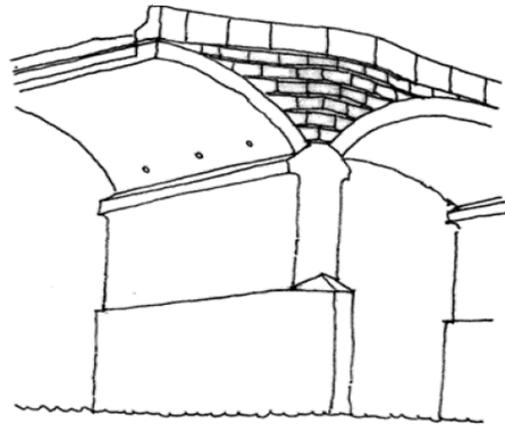


ROTTURA A TAGLIO DEI GIUNTI DI MALTA



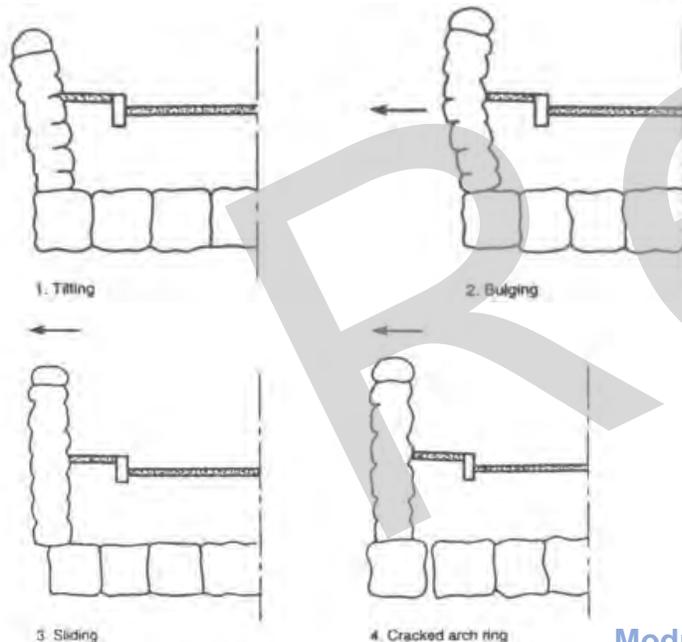
Ponti ad arco in muratura

Dissesti non esplicitamente previsti dalle Linee Guida



RIGONFIAMENTO E ROTAZIONE DEL TIMPANO

Deformazione localizzata nella giunzione tra il timpano e l'arco ed in particolare sopra la pila dove il muro raggiunge la sua altezza maggiore. Fenomeno frequente nei ponti ad arco a tutto sesto, nei ponti caratterizzati da altezze del timpano considerevoli e da volte di larghezza ridotta.



Il degrado delle murature di timpano può essere ricondotto agli effetti delle azioni ambientali ed al deterioramento della malta. Ulteriori danni possono venire dall'urto di veicoli contro il parapetto o dalle azioni generate dal congelamento dell'acqua. I fenomeni tipo sono:

- Rotazione verso l'esterno
- Spanciamento
- Scorrimento rispetto all'arco
- Rottura dell'arco per trazione trasversale

Modulo I - L'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti

Coordinatori Proff. Edoardo Cosenza e Mauro Dolce

a cura di:

Domenico Asprone, Antonio Bilotta, Eugenio Chioccarelli, Marco Di Prisco, Sergio Lagomarsino, Raffaele Landolfo, Angelo Masi, Maria Rosaria Pecce, Mauro Sassu, Marco Savoia

con il contributo di

Beatrice Belletti, Francesca da Porto, Maria Giuseppina Limongelli, Giovanni Plizzari, Antonino Recupero, Paolo Riva, Loris Vincenzi, Daniele Zonta

