



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



Patrimonio storico e infrastrutture viarie
Le nuove sfide della Pubblica Amministrazione nel segno della conservazione, della sicurezza, della digitalizzazione e della sostenibilità delle opere



ORDINE
DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI
PAESAGGISTI
CONSERVATORI
DELLA PROVINCIA
DI VERONA

Palazzo della Gran Guardia - Verona 22 giugno 2023



La gestione dei ponti esistenti e le Linee Guida del MIT

Prof. Ing. Carlo Pellegrino

*Ordinario di Tecnica delle Costruzioni e Docente di Progetto di Ponti
Prorettore all'Edilizia dell'Università degli Studi di Padova
Referente dell'Università di Padova presso il Consorzio FABRE
carlo.pellegrino@unipd.it*



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
DEPARTMENT OF CIVIL, ENVIRONMENTAL
AND ARCHITECTURAL ENGINEERING



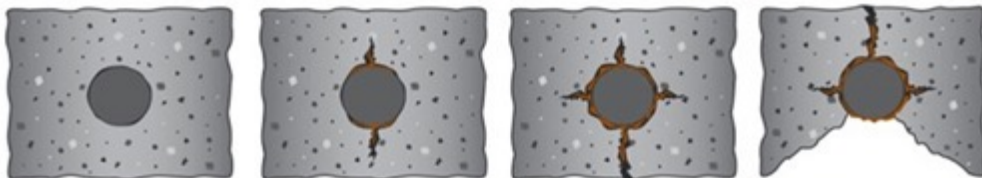
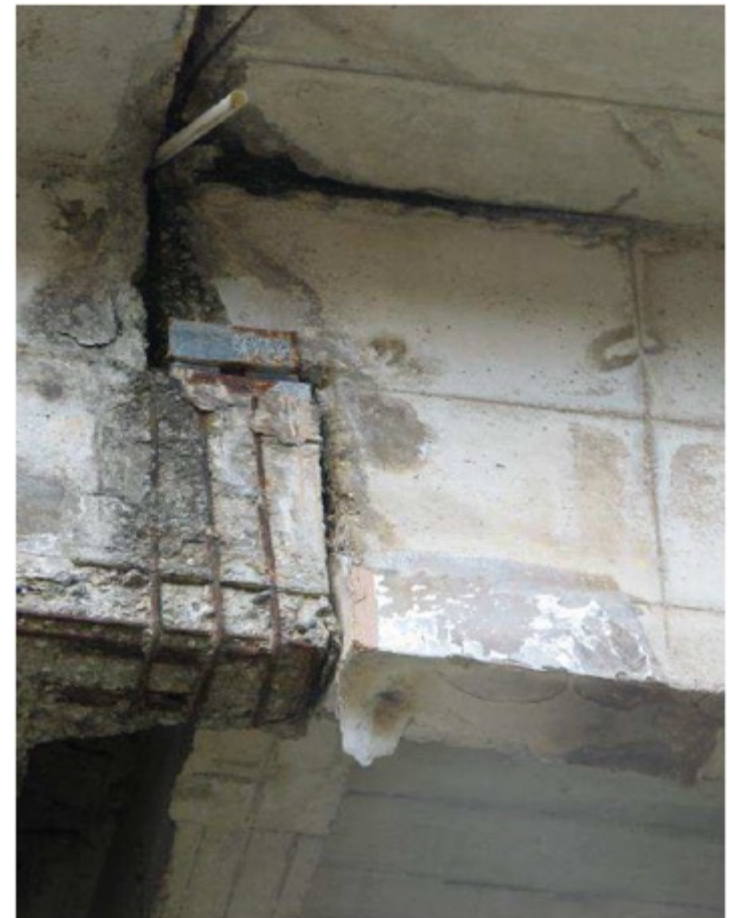


Obiettivi principali per un ente gestore di una infrastruttura viaria

- Garantire la sicurezza strutturale sia in condizioni ordinarie, che in condizioni eccezionali (eventi naturali o di natura antropica)
- Razionalizzare i costi di manutenzione tramite un'adeguata pianificazione degli interventi abbinata a un programma di sorveglianza dello stato di condizione
- Minimizzare l'impatto sulla funzionalità dell'infrastruttura di tali interventi manutentivi



La situazione di molti manufatti risulta purtroppo compromessa da fenomeni di deterioramento avanzati...



PRIMA DELLA
CORROSIONE

INNESCO
DELLA CORROSIONE

FESSURAZIONI E
MACCHIE SUPERFICIALI

ESPLOSIONE DEL FERRO
FORMAZIONE SPALLING

ALCUNI RECENTI COLLASSI

Annone Brianza (LC) – 28/10/2016



Fossano (CN) – 19/04/2017



Genova – 14/08/2018



Albiano Magra (Massa Carrara) – 08/04/2020



Romagnano Sesia (Vercelli) – 03/10/2020

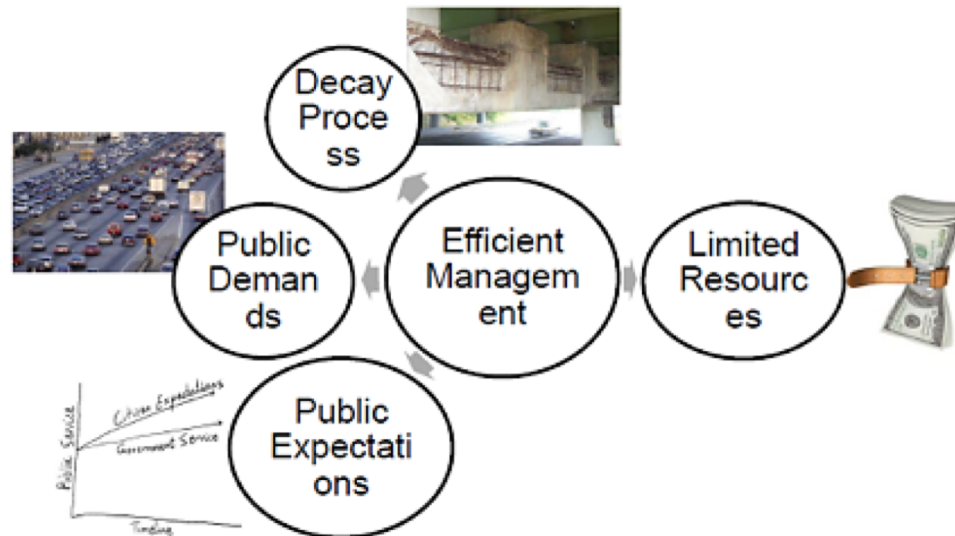


Ponte Lenzino sul Trebbia (Piacenza) – 03/10/2020

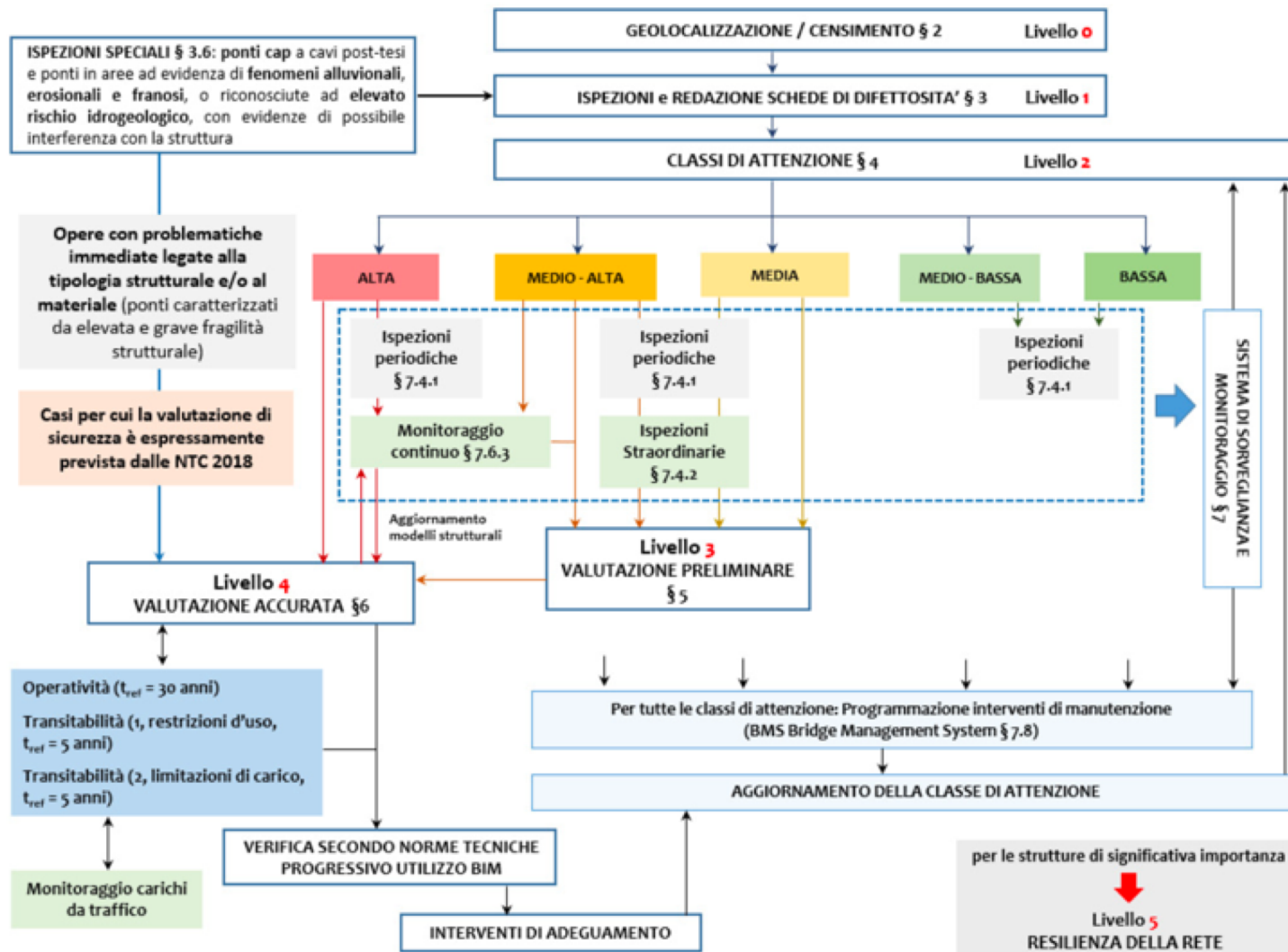


Principali problematiche:

- Non si hanno informazioni di dettaglio su molti ponti e viadotti esistenti
- Mancano le risorse economiche per svolgere ispezioni e rilievi di dettaglio a tutto il parco opere
- I rischi e le conseguenze spesso vengono sottostimati
- Manca la cultura della prevenzione, si interviene solo in emergenza



Approccio multilivello per la gestione dei ponti





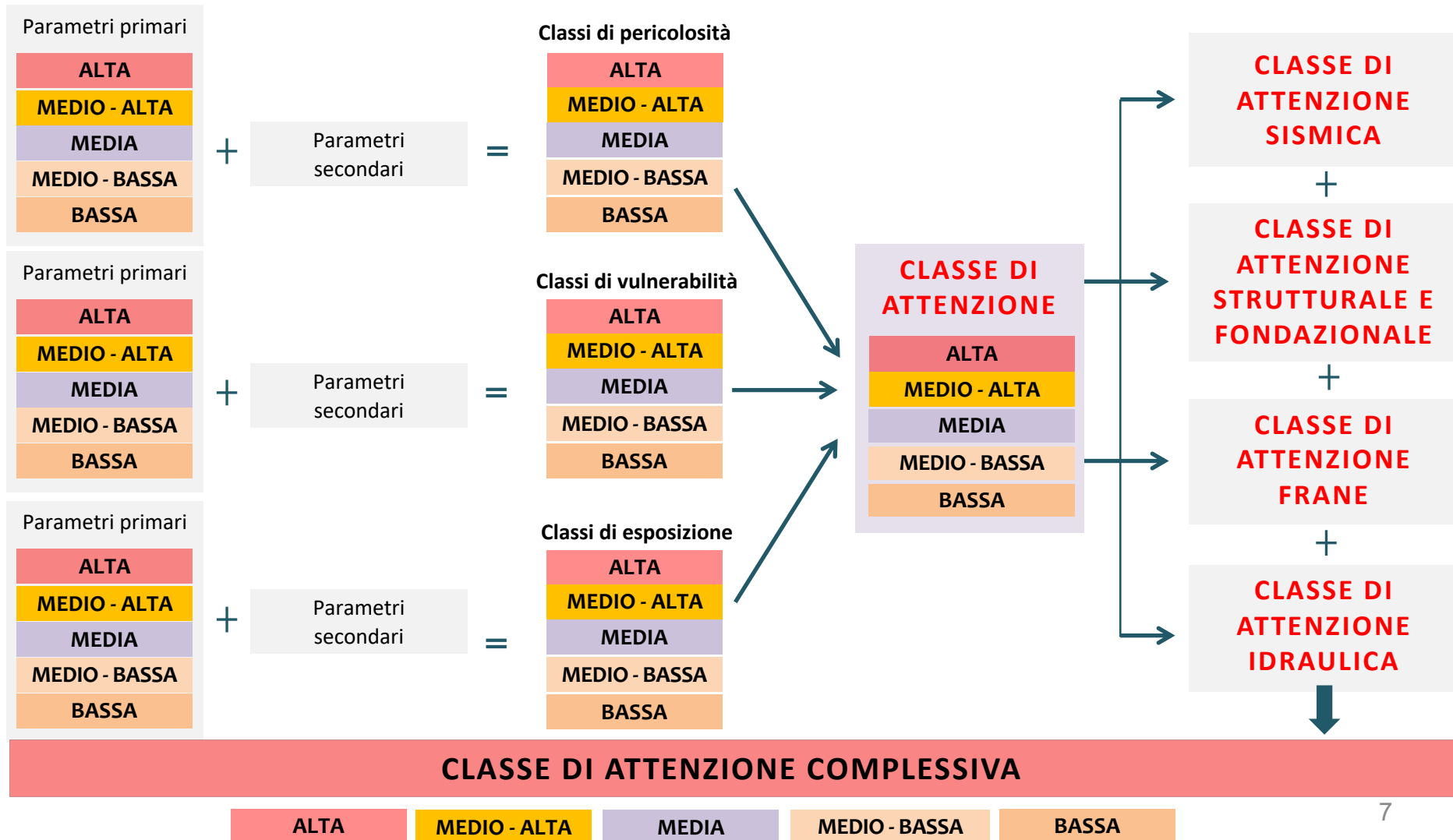
Livello 0: Catalogazione di tutte le opere presenti sul territorio, al fine di conoscere il numero di strutture da gestire e le loro caratteristiche principali («catasto opere»)

- Rilievo: documenti, ricerche,..
- Archiviazione: sistemi di mappatura informatizzati,...

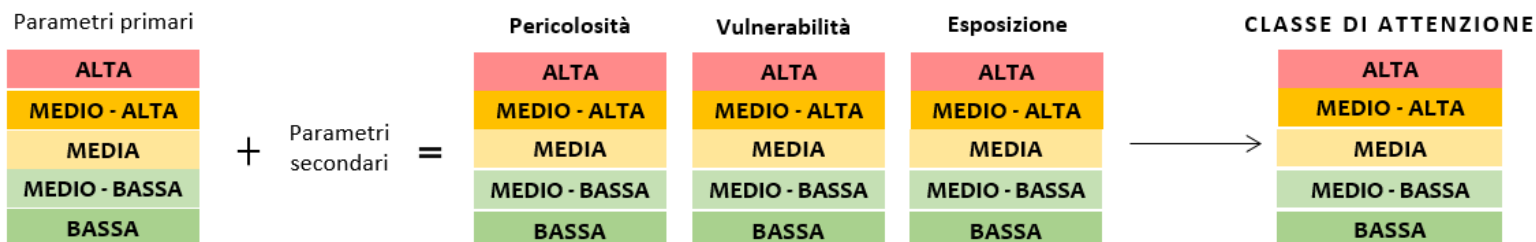
Livello 1: Ispezioni visive per ottenere una “fotografia” e una descrizione **quanto più oggettiva possibile** ad un determinato istante delle effettive condizioni dell’opera e dell’ambiente circostante, mediante rilievo fotografico, geometrico e dei principali fenomeni di degrado e naturali in atto

- Rilievo con approccio schedografico del degrado → **determinazione del livello di difettosità dell’opera** (difetti, intensità, estensione) con **schede** differenziate per tipologia e materiale degli elementi costituenti il ponte
- **Individuazione di elementi/degradi critici**
- Rilievo di fattori primari e secondari atti a definire rischi di tipo strutturale, sismico, da evento franoso, idraulico

Livello 2: Flusso logico per la determinazione della Classe di Attenzione (fulcro delle LG)



Classe di Attenzione Strutturale e Fondazionale



	Parametri primari	Parametri secondari
Pericolosità	Entità dei carichi presenti con particolare riferimento al transito di trasporto eccezionale	-
Vulnerabilità	Livello di difettosità Schema statico, luce, materiale e numero di campate	Rapidità di evoluzione del degrado Norma di progettazione
Esposizione	Livello di TGM e luce media della campata	Alternative stradali Tipologia di ente scavalcato Trasporto di merci pericolose



Livello 3: Valutazione preliminare

Raccomandata per opere classificate in **CdA Alta** o **CdA Medio-Alta**

Le **valutazioni preliminari di Livello 3** mirano a stimare, preliminarmente, le risorse dell'opera in funzione.

- Individuazione delle possibili cause delle problematiche osservate al Livello 1
- **Valutazione preliminare delle risorse garantite dalle norme utilizzate all'epoca della progettazione dell'opera rispetto alle normative attualmente vigenti**: calcolo del rapporto di sicurezza approssimato tra la domanda indotta sugli elementi che compongono il ponte dai carichi da traffico previsti dalle norme dell'epoca e la domanda ottenuta utilizzando i modelli di traffico previsti dalle norme attualmente vigenti

Sulla base delle analisi fino a Livello 3 l'ente proprietario e/o gestore valuta, caso per caso, la necessità di eseguire valutazioni accurate di Livello 4

Livello 3: Valutazione preliminare

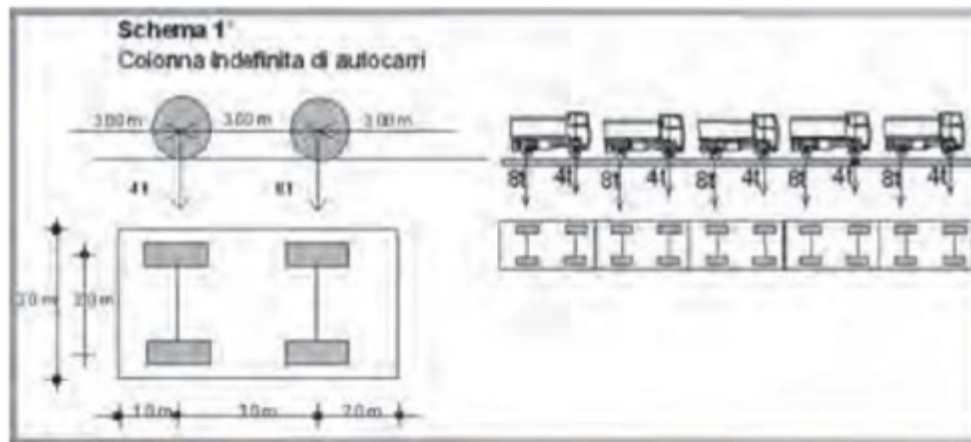
I **modelli di traffico**, almeno **fino al 1980**, rispecchiavano, nei pesi e nella geometria, i mezzi di trasporto effettivamente transitanti ed erano diversificati nel caso in cui sul ponte era previsto transito di **mezzi militari** (ponte di 1^a categoria) o transito di soli **mezzi civili** (ponte di 2^a categoria).

Normale n. 8 del 15/09/1933: per i ponti che dovevano reggere i carichi militari si indicava lo schema II di carico, corrispondente al peso dell'obice 305/17 di 92 tonnellate comprensivo del carrello e della motrice



Dopo la guerra è stato abolito lo schema di carico militare; si prevedeva lo schema di carichi civili consistente in una colonna indefinita di autocarri da 12 ton, con assi da 8 ton e 4 ton alternati ed equidistanti di 3 metri; si prevedeva inoltre il transito di un rullo compressore da 18 ton

Gli schemi di carico riproducevano i reali mezzi transitanti sulle strade, differenziati su tre categorie stradali, in funzione dell'entità del traffico atteso





Livello 4: Valutazione accurata

Le Linee Guida costituiscono una prima integrazione delle norme vigenti sul tema della valutazione accurata della sicurezza dei ponti esistenti.

Sono riportate **indicazioni per una corretta esecuzione delle verifiche nel rispetto delle normative vigenti** (in particolare il Cap. 8 delle Norme Tecniche) a partire dalla fase di **conoscenza del manufatto** sino alle fasi conclusive di pianificazione degli interventi/provvedimenti

Le nuove specificazioni riguardano in particolar modo:

- **l'influenza dello stato di degrado sulla verifica**
- **la valutazione dei carichi**
- **la vita di riferimento da assumere nel calcolo delle azioni**



Livello 4: Valutazione accurata

Ai fini della Linea Guida, si definisce per le valutazioni di sicurezza:

- 1) **ADEGUATO**, un ponte esistente per cui siano **soddisfatte le verifiche eseguite secondo le Norme Tecniche utilizzando i carichi e i fattori parziali in esse previsti.**
- 2) **OPERATIVO**, un ponte per cui siano soddisfatte le verifiche eseguite utilizzando i principi esposti nelle **Norme Tecniche** ma **facendo riferimento, nella valutazione dei fattori parziali relativi ai carichi e ai materiali, ad un tempo di riferimento ridotto**. Il valore del tempo di riferimento, t_{ref} , **durante il quale si assicura comunque il livello di sicurezza minimo per la salvaguardia della vita umana**, convenzionalmente assunto a livello indicativo nelle Linee Guida è pari a **30 anni**.
- 3) **TRANSITABILE**, un ponte per il quale sono emerse **carenze, ma che non viene chiuso in attesa degli interventi** perché sono soddisfatte le verifiche eseguite su un orizzonte temporale ridotto, entro il quale si realizzino lavori di adeguamento o operatività, adottando i **provvedimenti**: (a) **“limitazione dei carichi consentiti”** o (b) **“restrizione d’uso del ponte”**. **Nella valutazione dei fattori parziali per i carichi e ai materiali si adotta un tempo di riferimento ridotto** assunto non maggiore di $t_{ref} = 5$ anni.

Livello 4: Valutazione accurata

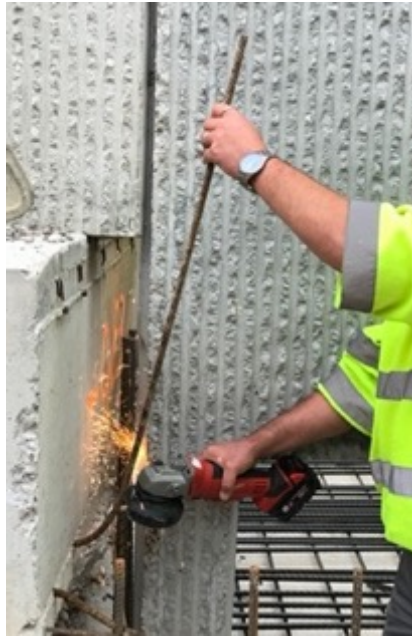
Tabella 6.3.1 - Livelli di analisi in funzione delle finalità delle verifiche

	Obiettivi	Carichi da traffico	t_{ref}
COMPLETA ADEGUATEZZA Valutazione del livello di sicurezza secondo le norme attuali (NTC 2018)	Valutazione del livello di sicurezza strutturale, sismico e idraulico (alluvioni e frane) come previsto dalle <u>NTC 2018</u> , con eventuale riduzione fattori parziali carichi permanenti	Schemi convenzionali previsti dalle <u>NTC 2018</u>	Vita nominale (V_N) come da NTC 2018

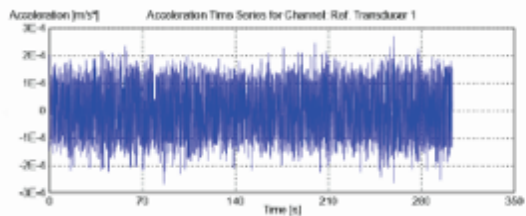
Se il livello di sicurezza strutturale (statica/geotecnica) è insufficiente rispetto alle NTC

OPERATIVITA'	Valutazione del livello di sicurezza strutturale con t_{ref} ridotto e fattori parziali ridotti	Schemi da <u>NTC 2018, con fattori parziali ridotti</u>	30 anni
TRANSITABILITA' NTC 2018 (Immediata transitabilità 1)	Valutazione del livello di sicurezza strutturale con t_{ref} ulteriormente ridotto imponendo <u>restrizioni all'uso</u> del ponte e fattori parziali ridotti	Schemi da <u>NTC 2018, con restrizioni di uso e fattori parziali ridotti</u>	5 anni
TRANSITABILITA' CdS <ul style="list-style-type: none"> • PESANTE • INTERMEDIA • LEGGERA • AUTOVEICOLI (Immediata transitabilità 2)	Valutazione del livello di sicurezza strutturale con t_{ref} ulteriormente ridotto, imponendo <u>limitazione dei carichi secondo CdS</u> e con relativi fattori parziali ridotti	Schemi da <u>CdS con relativi fattori parziali ridotti</u>	5 anni

Indagini mediante prove in sito e in laboratorio per Valutazione Accurata di Livello 4



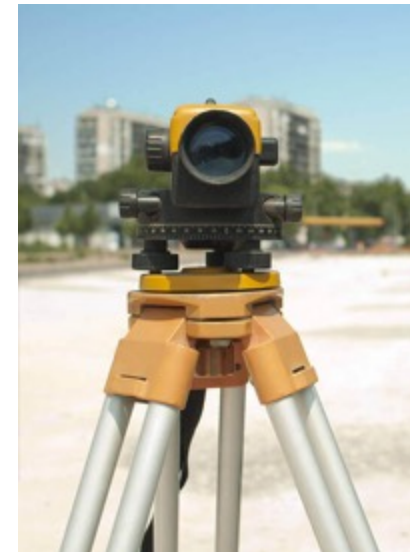
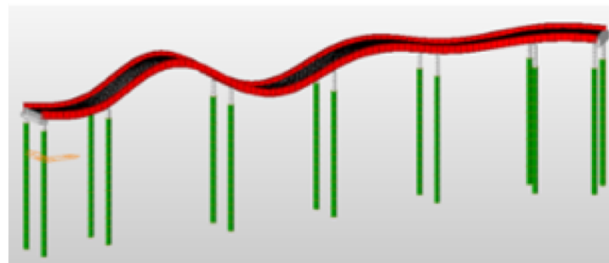
Indagini mediante prove in sito e in laboratorio per Valutazione Accurata di Livello 4



Cursor Values
Time = -
Acceleration = -

Statistics

- Maximum = 2.614E-4 [m/s²]
- Minimum = -2.674E-4 [m/s²]
- RMS = 0.862E-4 [m/s²]
- Median = -7.118E-5 [m/s²]
- Mean = 0.000E-8 [m/s²]
- Variance = 3.510E-9 [m/s⁴]
- Standard = 2.075E-4
- Kurtosis = 3.066E-01





Elementi critici e ispezioni speciali

L'ispezione visiva in situ permette di individuare la presenza di **“elementi critici”**, indicando con tale termine gli elementi particolarmente soggetti ai fenomeni di degrado e **i cui eventuali malfunzionamenti possono incidere significativamente sul comportamento strutturale globale del ponte, ...**

Sono considerati elementi critici **le selle Gerber, i cavi da precompressione, ...**

I ponti di calcestruzzo armato precompresso a cavi post-tesi sono strutture particolarmente critiche, in quanto né le tecniche di indagine convenzionali e ancor meno le ispezioni visive consentono di fornire un quadro conoscitivo adeguato sulle loro reali condizioni di degrado. Occorre pertanto eseguire ispezioni speciali ...

Con l'obiettivo di approfondire gli aspetti legati alla valutazione, al monitoraggio e alle ispezioni delle selle Gerber e dei ponti a cavi post-tesi è nato il **Tavolo Tecnico ponti c.a.p. a cavi post-tesi e ponti con selle Gerber** coordinato dal Consorzio FABRE a cui partecipano MIT, Università e Concessionarie.

CASO STUDIO 1 – Ponte sul fiume Brenta



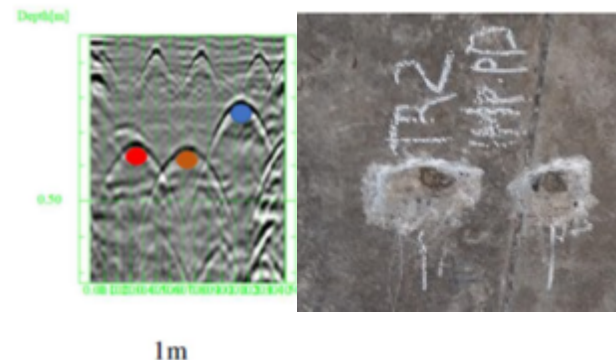
Si tratta di un ponte a tre campate in c.a.p. in semplice appoggio con luce di circa 32 m, costituito da un impalcato composto da 4 travi a doppio «T» precomprese **a cavi post-tesi**, di altezza pari a 1.6m poste ad un interasse di circa 2.5m e una soletta collaborante di spessore 20 cm.

Il ponte, costruito nel 1968, scavalca il fiume Brenta in località Curtarolo e ospita una careggiata ad unico senso di marcia.

Il piano di indagine:

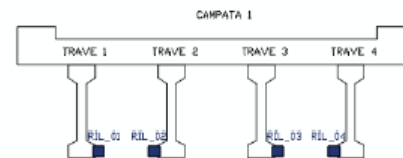
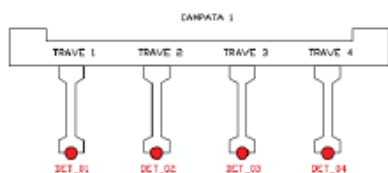
Prove specifiche per l'analisi della precompressione residua

- Georadar + pacometri per verifica tracciato cavi / armature;
- Microcarotaggi e videoendoscopia in 16 posizioni;
- Rilasci tensionali e detensionamento (4+4);
- XRD (nella stessa posizione dei detensionamenti su più cavi).



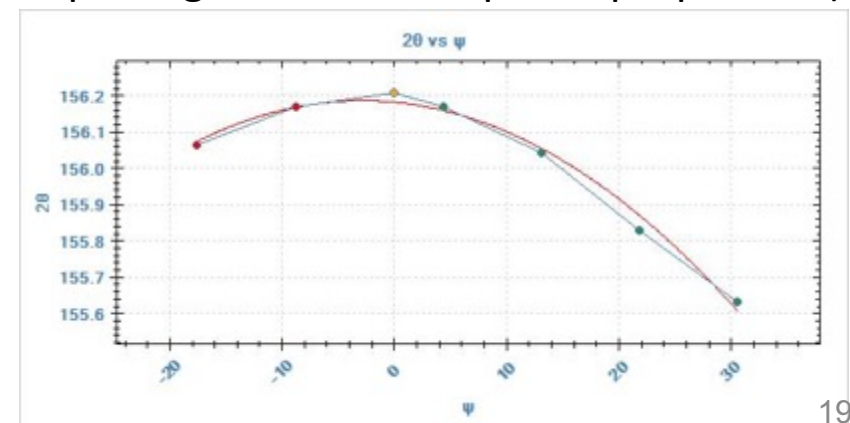
Per l'esecuzione delle prove di **detensionamento**, i fili sono stati scoperti (rimozione guaina e boiacca) **per almeno 15 cm**, e puliti tramite spazzolatura meccanica.

Per l'esecuzione delle prove di **rilascio tensionale sul calcestruzzo**, si esegue un **taglio di forma tronco-conica sul calcestruzzo**, producendo una **variazione dello stato tensionale** che si modifica fino ad annullarsi, con una **deformazione di segno opposto** a quella preesistente.



XRD: Procedura di test basata su una relazione fondamentale tra la distanza interatomica di una struttura cristallina e lo stato di tensione biassiale sulla superficie del campione

1. Effettuazione degli scassi per mettere in luce i cavi (50 x 50 cm);
2. Procedura di decapaggio chimico della superficie dei cavi tramite una miscela di acido solforico, acido cloridrico ed acqua al fine di rimuovere lo strato di ossido presente sulla superficie;
3. Posizionamento della staffa a C sulla quale viene ancorato il diffrattometro attraverso un braccio snodabile;
4. Range di misura: $\phi = \pm 35/30^\circ$, 9 misurazioni angolari e tempo di conteggio pari a 60 s per ogni ϕ ;
5. Eliminazione *outliers* (ultimi due punti del ramo psi negativi, e ultimo punto psi positivo).



CASO STUDIO 2 – Cavalcavia A14

L'opera è costituita da tre campate, di cui quella centrale, in **calcestruzzo armato precompresso a cavi post-tesi**, di luce pari a circa 27 m e le due laterali, realizzate in calcestruzzo armato ordinario, di luce pari a circa 9 m.

La struttura è caratterizzata da uno schema statico di travata Gerber.

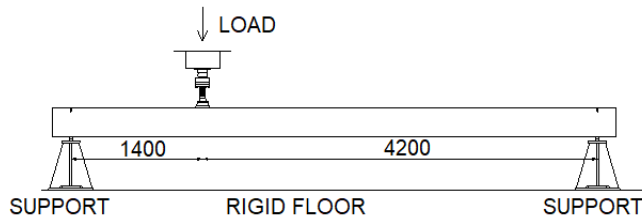
La sezione dell'impalcato è caratterizzata da 6 travi affiancate con sezione a I, con interasse pari a 1,60 m, e collaboranti con una soletta a spessore costante, pari a 16 cm.

Le 6 travi della luce centrale sono precomprese, con sistema post-teso, mediante l'utilizzo di 4 cavi. Le campate laterali sono costituite da travi in calcestruzzo ordinario a sezione rettangolare collaboranti con una soletta di spessore 20 cm.

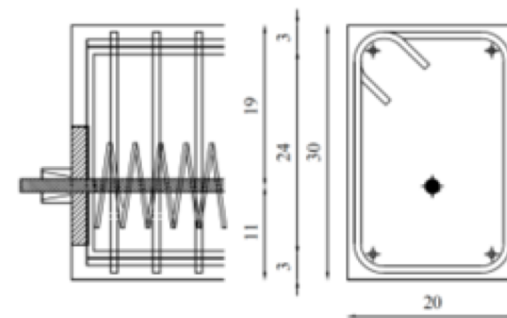
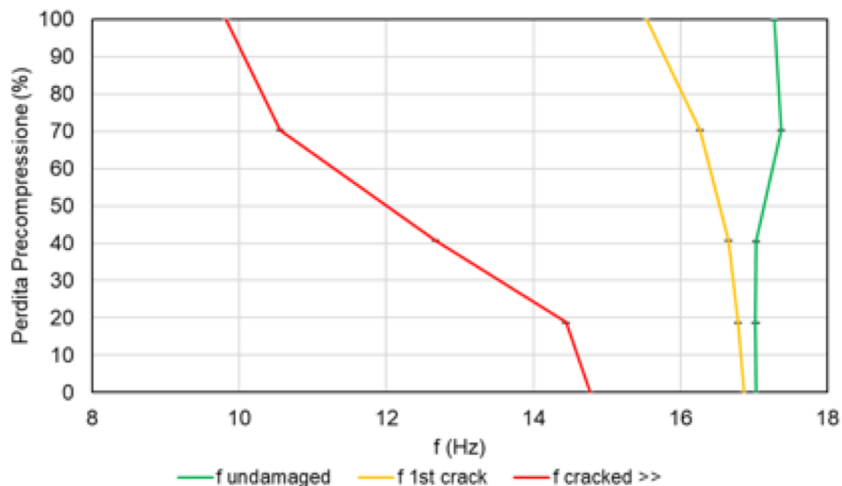


METODOLOGIA DI INDAGINE SUL COMPORTAMENTO GLOBALE BASATA SULLE PROVE DI IDENTIFICAZIONE DINAMICA

Prove sperimentali su travi post-tese hanno dimostrato che le prove dinamiche forniscono elementi per individuare perdite di compressione quando l'elemento risulta fessurato.



Trave post-tesa con cavo rettilineo, eccentrico.
Schema statico: trave su due appoggi.
Valutazione parametri dinamici dopo lo scarico.



Verde: carico flessionale < carico di prima fessurazione.
Giallo: carico flessione = carico di prima fessurazione.
Rosso: carico flessione >> carico di prima fessurazione.



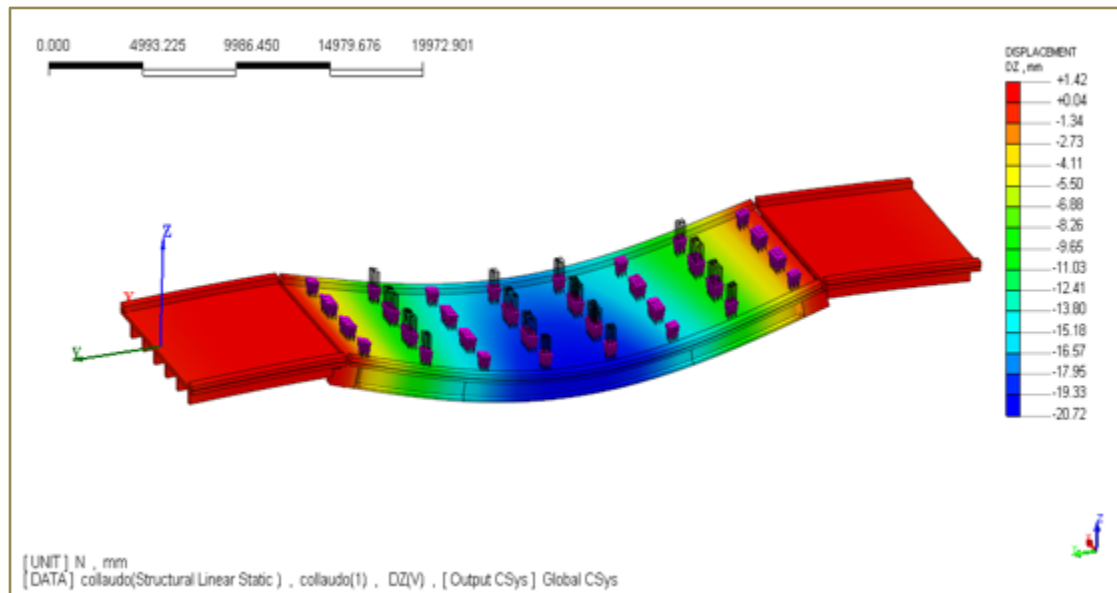
METODOLOGIA DI INDAGINE SUL COMPORTAMENTO GLOBALE BASATA SULLE PROVE DI IDENTIFICAZIONE DINAMICA

Obiettivi:

- ricavare le principali caratteristiche dinamiche sperimentali dell'opera tramite identificazione dinamica (frequenze proprie, deformate modali, smorzamenti);
- ricavare le principali caratteristiche dinamiche numeriche dell'opera al «tempo 0» tramite modellazione numerica del manufatto calibrata sulla base del comportamento sperimentale osservato durante la prova di collaudo statica originaria;
- confrontare le caratteristiche dinamiche sperimentali ottenute oggi con quelle numeriche del manufatto al «tempo 0» e valutare se vi sono elementi che possano ricondurre ad una riduzione di rigidità dovuta a danni strutturali o perdite di precompressione che comportino significative fessurazioni.

SVILUPPO E CALIBRAZIONE MODELLO NUMERICO

Nel modello di calcolo, sono stati imposti gli stessi carichi applicati durante la prova di collaudo originaria calibrando il modello sulla base della freccia massima misurata sperimentalmente.

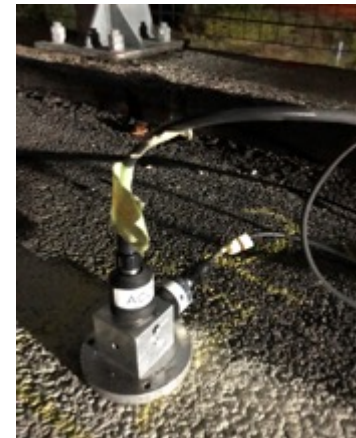


f max misurata: 20.74 mm

f max numerica: 20.72 mm

CAMPAGNA SPERIMENTALE

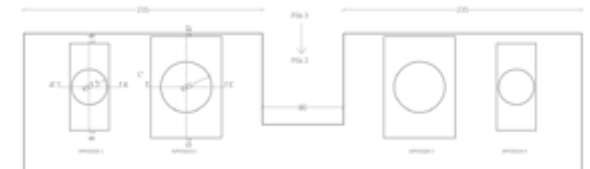
Rilevazione vibrazioni ambientali:
15 accelerometri (14 verticali, 1 laterale)



SELLE GERBER

Secondo le «**Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti**» al punto 3.3 le selle Gerber sono classificate come **elementi critici**, poiché:

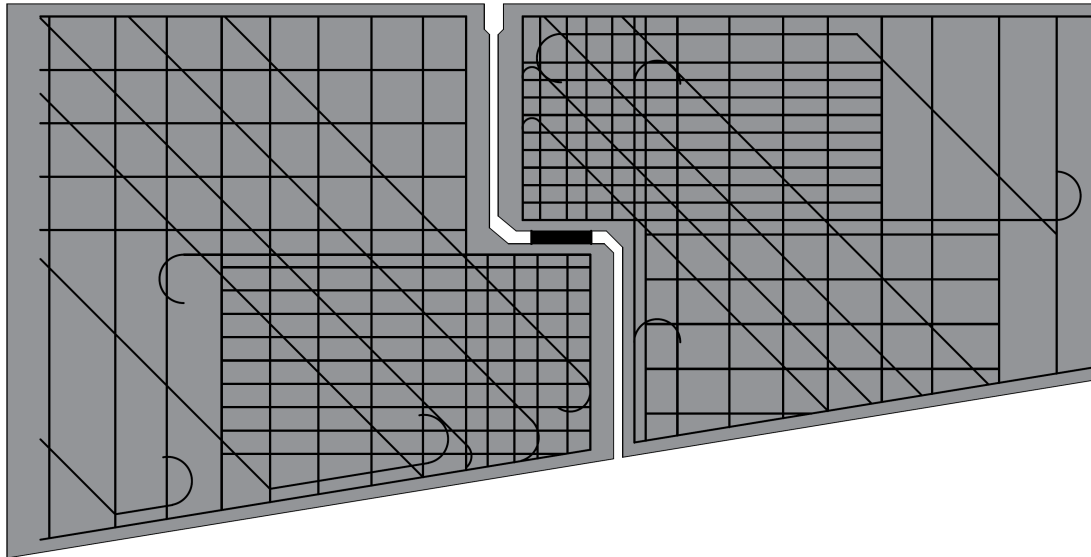
- elemento particolarmente soggetto a fenomeni di degrado da agenti atmosferici;
- il cedimento comporta una variazione del comportamento strutturale globale del ponte;
- il cedimento è di tipo fragile.



*Degrado delle selle Gerber, esposizione agli agenti atmosferici:
ristagno d'acqua, aggressione da cloruri ecc..*

Comportamento strutturale:

Tipica distribuzione delle armature nelle selle Gerber



Riadattato da: «Manuale del calcestruzzo semplice ed armato (Beton-kalender) volume terzo, 1974.»

Difficoltà di ispezione:

L'accesso alla sella ed ai relativi apparecchi di appoggio è in genere non semplice:

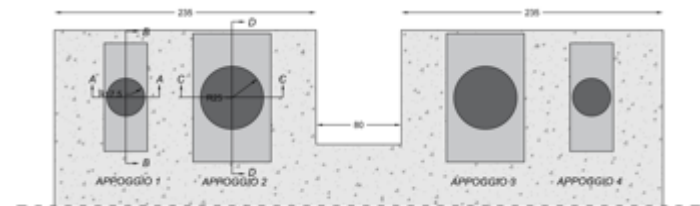
- Strutture elevate necessitano di un accesso dall'impalcato (sistemi by-bridge);
- L'accesso dal basso può essere difficoltoso in mancanza di appositi percorsi;
- Per selle facenti parte di sistemi a piastra piena vi è difficoltà di ispezione della parte interna e dei sistemi di appoggio.



Piattaforma by-bridge per l'accesso dall'impalcato



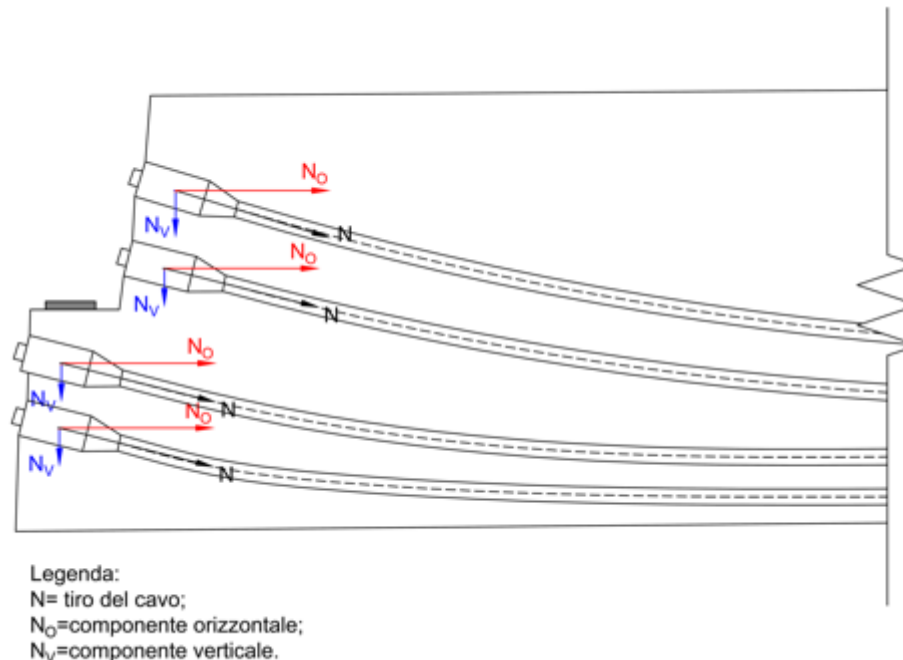
Piattaforma per l'accesso dal basso



Difficoltà nella valutazione degli appoggi

Valutazione dell'effetto della precompressione:

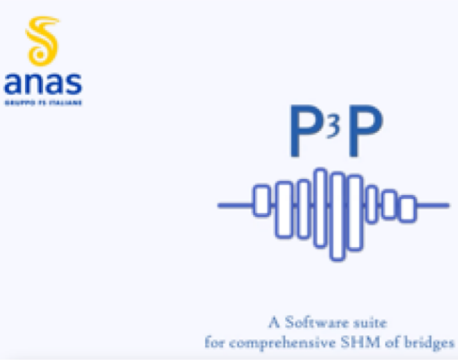
Spesso nella sella Gerber sono presenti anche i sistemi di ancoraggio dei cavi di precompressione, le cui forze costituiscono una componente del sistema di azioni e/o coazioni. L'azione di precompressione può essere stimata in accordo a §4.1.2.5.3 delle NTC2018.



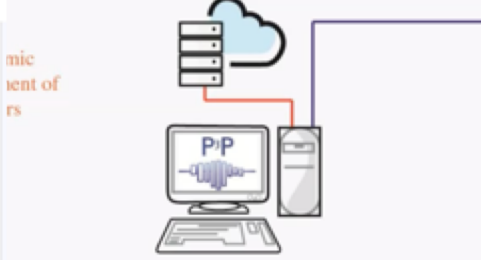
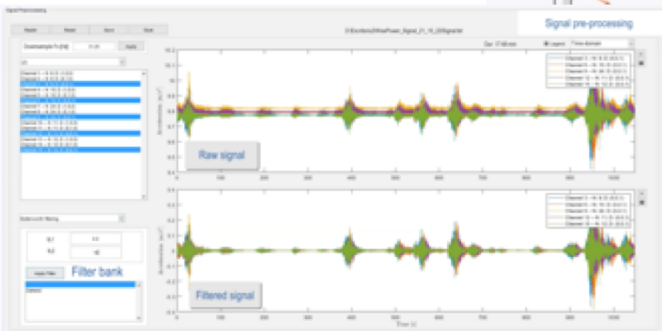
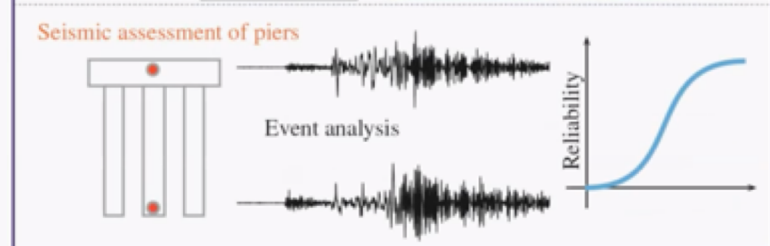
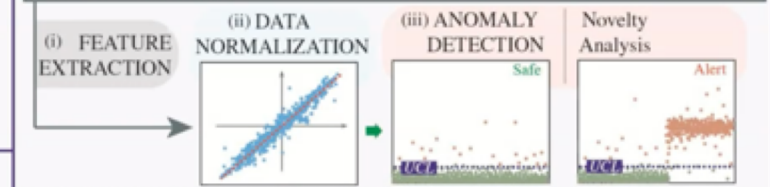
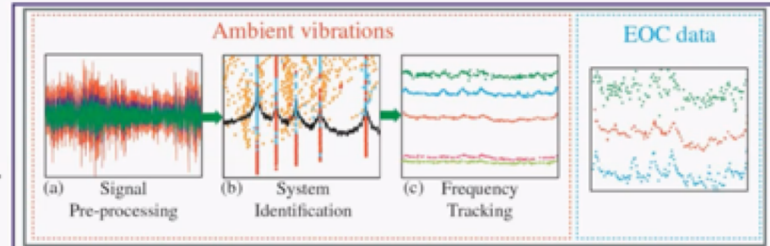
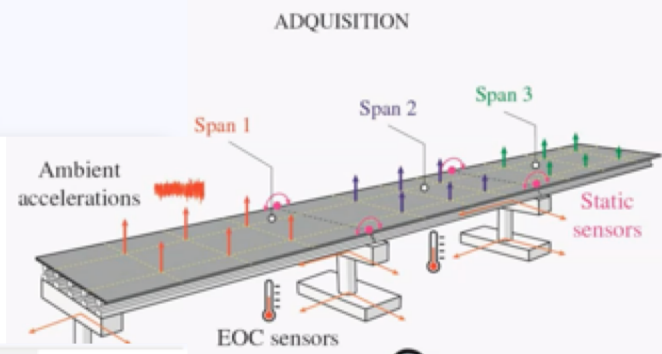


Monitoraggio strumentale (*Structural Health Monitoring*)

Reti di sensori gestiti da sistemi hardware/software che consentono di acquisire i dati provenienti dai sensori e di elaborarli in modo automatico o semiautomatico, identificando attraverso opportuni algoritmi la presenza di eventuali malfunzionamenti.



Importanza della progettazione e del corretto posizionamento dei sensori oltre a una adeguata gestione e interpretazione dei risultati tramite parametri ingegneristici sintetici.





Bridge Management System (BMS)

Un Sistema di Gestione dei Ponti (BMS) permette di:

- costruire l'**inventario** delle opere in gestione;
- programmare e gestire le attività di **ispezione**;
- **prevedere futuri scenari di ammaloramento** tramite l'utilizzo di modelli di deterioramento;
- **pianificare gli interventi** di manutenzione, riparazione e riabilitazione strutturale con **ordine di priorità** stabilito in maniera razionale.





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



Patrimonio storico e infrastrutture viarie

Le nuove sfide della Pubblica Amministrazione nel segno della conservazione, della sicurezza, della digitalizzazione e della sostenibilità delle opere



ORDINE
DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI
PAESAGGISTI
CONSERVATORI
DELLA PROVINCIA
DI VERONA

Palazzo della Gran Guardia - Verona 22 giugno 2023



La gestione dei ponti esistenti e le Linee Guida del MIT

Prof. Ing. Carlo Pellegrino

*Ordinario di Tecnica delle Costruzioni e Docente di Progetto di Ponti
Prorettore all'Edilizia dell'Università degli Studi di Padova
Referente dell'Università di Padova presso il Consorzio FABRE
carlo.pellegrino@unipd.it*



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
DEPARTMENT OF CIVIL, ENVIRONMENTAL
AND ARCHITECTURAL ENGINEERING

