

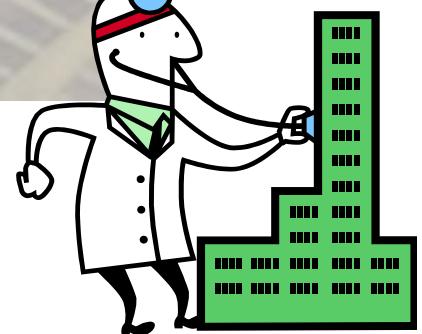
Sperimentazione delle Linee Guida per i ponti esistenti

CONVEGNO FINALE

Roma 19,20 e 21 novembre 2025

Il degrado delle opere e le attività di ispezione

Maria Rosaria Pecce
Università di Napoli Federico II



Garantire la sicurezza controllando lo stato di salute delle opere



Dissesti e crolli recenti dei ponti stradali
Aprile 2017
Tangenziale di Fossano - Cuneo



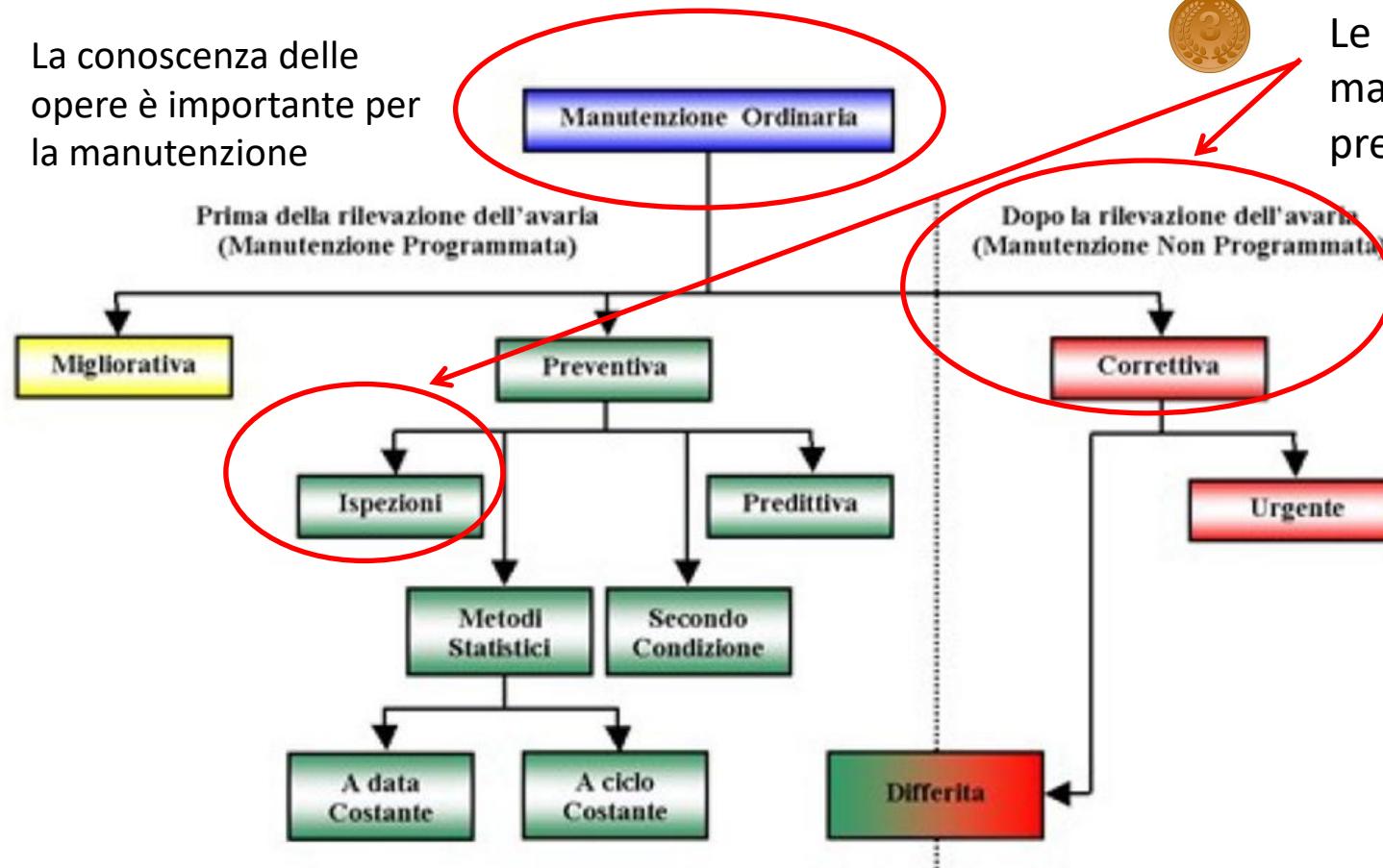
Effettuare una manutenzione più efficace per garantire la vita utile della struttura



Intervenire con la manutenzione in tempo riducendo i costi

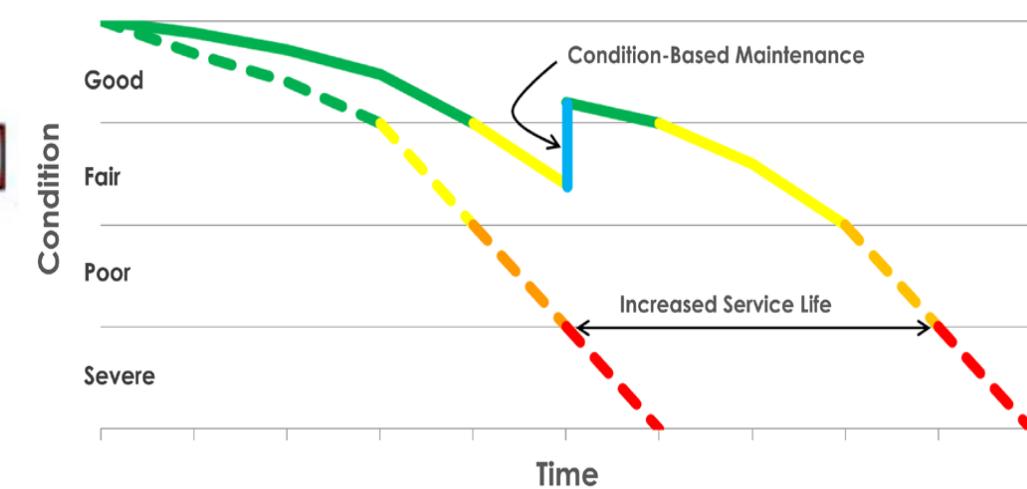


La conoscenza delle opere è importante per la manutenzione

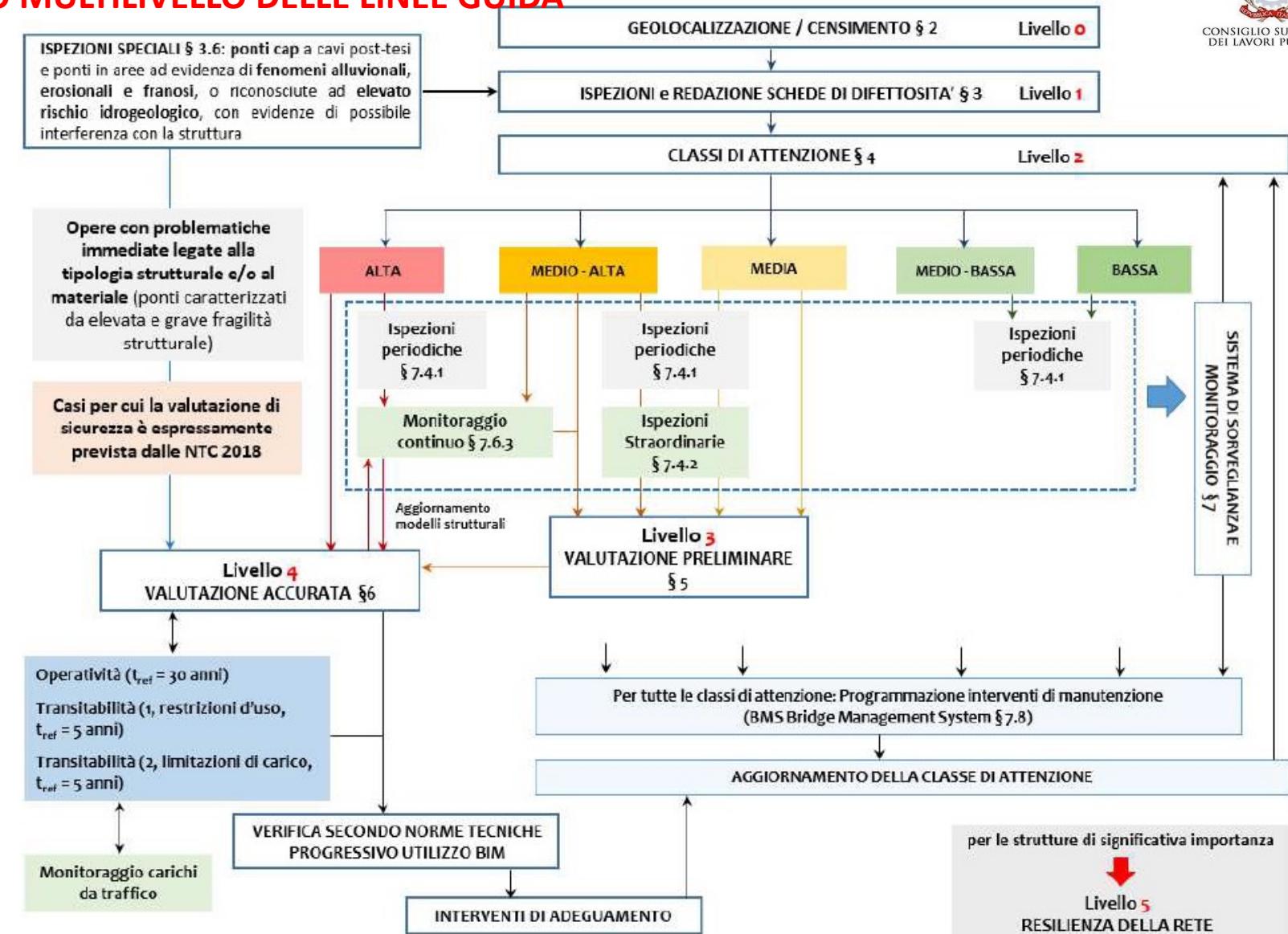


Le ispezioni possono dare indicazioni per la manutenzione correttiva ma anche preventiva

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

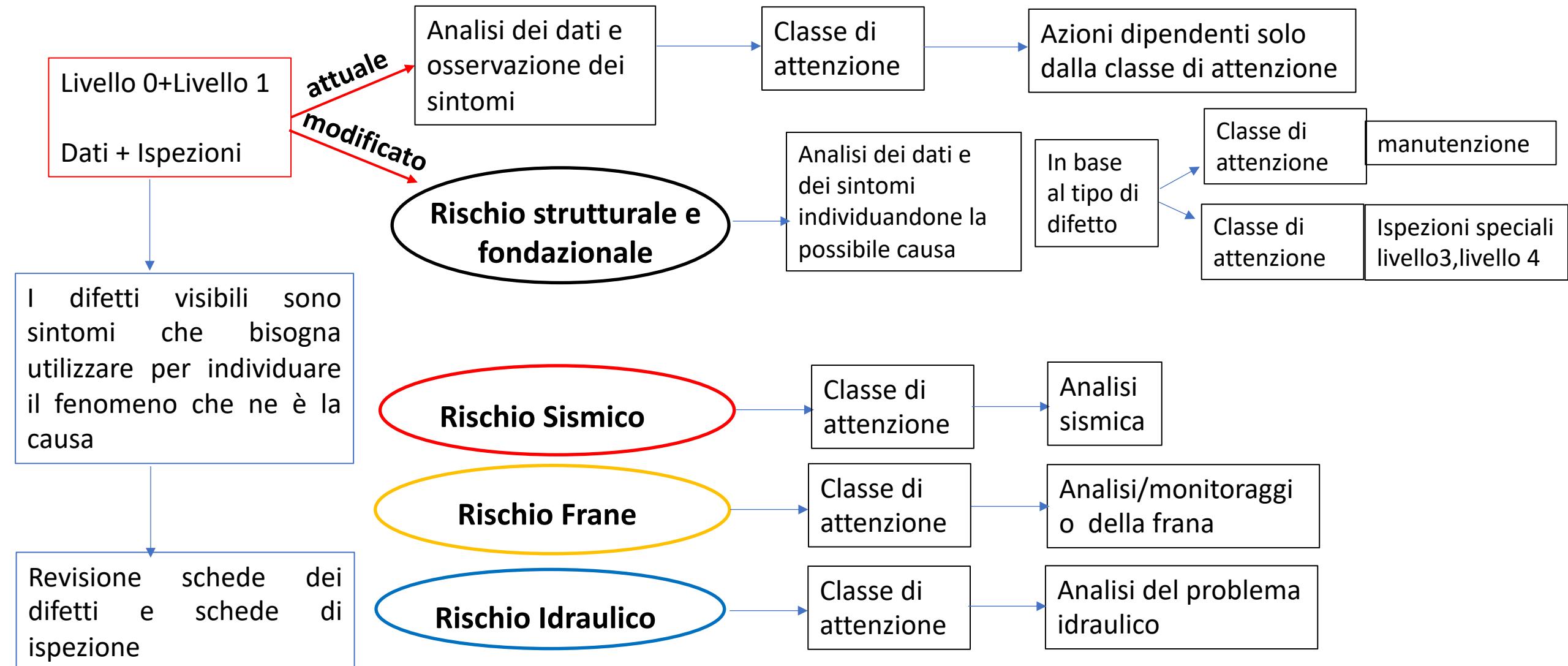


- **Level 0:** dati fondamentali, tipo di struttura, normativa di progetto, anno di costruzione
- ...
- **Level 1:** ispezioni e rilievi per individuare i difetti e riportarli mediante apposite schede
- **Level 2:** valutazione del rischio mediante la valutazione di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, considerando diversi rischi: strutturale e fondazione, sismico, idraulico, frane
- **Level 3:** in caso di classe di attenzione media e medio-alta si procede ad una valutazione preliminare della sicurezza strutturale mediante metodi semplificati
- **Level 4:** in caso di classe di attenzione alta e verifica di livello 3 non soddisfatta, si procede ad una verifica accurata secondo le normative italiane.
- **Level 5:** si deve procedere ad uno studio specifico della resilienza delle reti stradali



L'introduzione delle Linee Guida è stato fondamentale per avviare il processo di censimento e controllo con metodologia uniforme già utilizzato in diversi paesi. Per tutte le normative l'applicazione fornisce indicazioni per migliorare il metodo prima di andare a regime ma aggiornamenti saranno sempre necessari

**Il livello 2 è fondamentale per stabilire le azioni conseguenti
in modo efficiente se dal livello 1 si ottengono indicazioni diagnostiche**
 L'investimento di risorse nelle ispezioni è molto elevato, i dati devono avere la massima utilità



Importante cercare di distinguere

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**

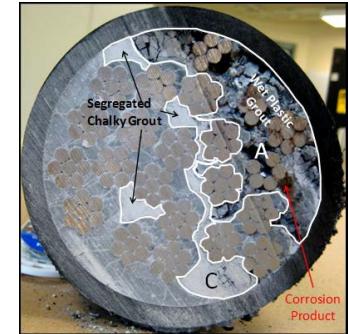
sintomi

macchie di umidità, distacco coprifero, fessurazione



Difetti di costruzione e carenze di progettazione

- Coprifери 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 vuoti nei giunti di malta non sempre favoriscono la corrosione
E' necessaria la presenza di acqua



Sulla base dello schema statico, della tipica armatura, della **posizione e del tipo di fessurazione** di altri sintomi che forniscono un quadro globale

Sollecitazioni eccessive

Fessura per sollecitazione da taglio



Fessura per corrosione



Le proposte sono state discusse sulla base delle attività e competenze di ricerca:

I principi alla base relativi della revisione sono:

- Schede difettologiche

Chiariscono gli aspetti che consentono di riconoscere la causa del difetto, l'importanza della localizzazione, il concetto si estensione in funzione delle ricadute

- Schede di rilievo

Migliorare la valutazione della gravità del fenomeno fornendo maggiori strumenti per riconoscere la causa del fenomeno attraverso il sintomo visibile (es. la corrosione delle armature si può riconoscere dalla tipologia di fessurazione distinguendola da quella dovuta a problemi di tensioni eccessive) aggiungendo anche l'importanza della localizzazione del difetto nell'elemento (la corrosione di una armatura longitudinale tesa non ha lo stesso peso della corrosione dell'armatura compressa)

Obiettivi generali

- Migliorare il riconoscimento del difetto attraverso descrizioni e grafici
- Cercare di individuare l'origine di difetti analoghi ma dovuti a cause diverse
- Capire la causa di un difetto consente di valutarne con più affidabilità la gravità e definire tempi e tipo di intervento
- Introdurre la localizzazione del difetto che può modificarne le conseguenze sulla struttura e quindi la gravità
- Importanza di capire cause e fenomeni per intervenire in tempo
- Ad esempio separare i fenomeni di fessurazione e espulsione del coprifero non dovuti alla corrosione dagli stessi fenomeni ma dovuti alla corrosione dell'armatura interna.

Armatura ossidata e/o corrosa

Peso del difetto

G = 1 G = 2 G = 3 G = 4

G = 5

Descrizione

A causa della mancanza o della carenza di uno strato di ricoprimento in calcestruzzo adeguato, le armature in acciaio, a contatto con agenti aggressivi esterni, appaiono ossidate o corrose. Nei casi più gravi l'evoluzione del fenomeno può provocare la riduzione della sezione resistente.

Qualora il calcestruzzo sia carbonatato e il copriferro intatto, tale fenomeno non è visibile ma si sviluppa al di sotto dello strato di ricoprimento in calcestruzzo. Per carbonatazione si intende la formazione di carbonato di calcio con la conseguente riduzione del PH del calcestruzzo e la depassivazione delle armature metalliche, che ne favorisce l'ossidazione. Quest'ultima provoca l'aumento di volume dell'armatura e la conseguente fessurazione, prima, ed espulsione poi, del copriferro.

Cause

Oltre che per il fenomeno di carbonatazione, l'ossidazione e/o la corrosione delle armature esposte sono causate dal contatto con l'aria e facilitate dalla presenza di acqua.

Fenomeni di degrado correlati

Il fenomeno è visibile laddove sono presenti distacchi di copriferro ed è maggiormente evidente in corrispondenza di vespai. Fasi anteriori del degrado sono eventuali lesioni in corrispondenza delle barre di armatura, la cui evoluzione potrebbe provocare il completo distacco di copriferro e la conseguente esposizione delle barre stesse. L'armatura ossidata e/o corrosa non si deve confondere con le staffe scoperte e/o ossidate, fenomeno che si riferisce specificatamente alle armature trasversali degli elementi, laddove esse siano presenti e ben distinguibili da quelle longitudinali.

Estensione k ₁	0,2 (appena presente)	0,5 (~50% superficie)	1 (~tutta la superficie)
Intensità k ₂	0,2 (ossidata)	0,5 (Intaccata la sezione della barra)	1 (Corrosa con diminuz. di sezione)



Scheda proposta

L'evoluzione della corrosione si può valutare dai sintomi nel calcestruzzo

- Fase iniziale – fessura da splitting – intensità bassa
- Evoluzione con scalzamento copriferro – intensità media
- Evoluzione con barre a vista e perdita di sezione – intensità alta

Schede difettologiche

N° difetto: c.a./c.a.p._6

Fenomeni corrosivi in fase di propagazione in barre di armatura lenta

Peso del difetto

	G=1	G=2	G=3	G=4	G=5
c.a.				Pos.2*	Pos.1
c.a.p				Pos.2*	Pos.1

Descrizione

* Noti i dettagli costruttivi delle armature

Estensione k_1	0,2	0,5	1
Intensità k_2	0,2 (fessurazione copriferro da splitting)	0,5 (distacco copriferro/armatura a vista corrosa)	1 (evidente perdita di sezione barre)

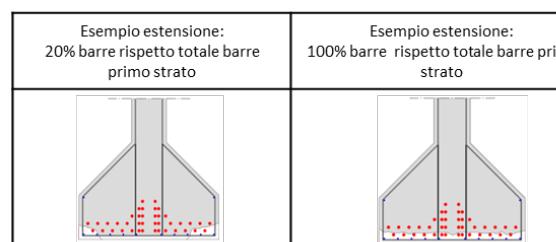
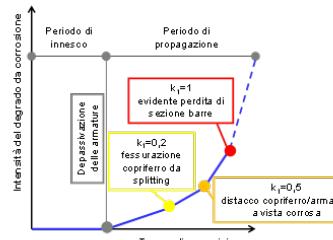
In fase di propagazione della corrosione, a seguito della fase di innescio, nelle armature longitudinali, il livello di intensità del difetto può essere qualitativamente valutato tramite l'osservazione di segni di degrado superficiali, quali la formazione di fessure da splitting nel copriferro (che seguono lo sviluppo longitudinale delle armature e dovute all'espansione volumetrica indotta dalla formazione della ruggine), il distacco del copriferro (correlato a perdite di sezione trasversale delle armature maggiori e più estese), l'esposizione diretta delle armature longitudinali all'ambiente esterno che corrisponde a elevate velocità di corrosione e perdite evidenti di sezione trasversale. Il livello di estensione dipende dal rapporto fra il contributo resistente fornito dall'armatura corrosa rispetto all'armatura totale nella medesima sezione. Qualora la conoscenza dei dettagli di armatura non sia sufficiente a definire la percentuale di armatura corrosa rispetto al totale, si assuma il livello di estensione massimo. La posizione del difetto contribuisce alla definizione della gravità del difetto nei riguardi della capacità dell'elemento strutturale e deve essere tenuta in conto assegnando un diverso valore di G. La posizione 1 si riferisce a zone in cui la corrosione dell'armatura può comportare la riduzione della capacità dell'elemento o fenomeni locali di un certo rilievo, la posizione 2 a zone in cui la corrosione dell'armatura non comporta sensibili riduzioni della capacità dell'elemento. In mancanza di conoscenza dei dettagli costruttivi, che permetta di individuare il ruolo dell'armatura si assuma Pos. 1.

Cause

Il periodo di innescio del difetto dipende principalmente dall'aggressività dell'ambiente esterno, dall'umidità e dalla temperatura, dai cicli di bagnatura/asciugatura, dallo spessore di copriferro, dalla porosità del calcestruzzo e dalla presenza di uno stato fessurativo indotto da carichi e/o fenomeni reologici. Il difetto è spesso causato da carenze progettuali/malfunzionamenti dei giunti, delle opere accessorie (ex. sistemi di convogliamento delle acque e di impermeabilizzazione parenti o assenti) o meno frequentemente da errori esecutivi (spessore di copriferro inadeguato, calcestruzzo poroso e/o con vespaio).

Fenomeni di degrado correlati

Il fenomeno si presenta laddove gli effetti della fase di innescio sono evidenti (ex. macchie di umidità, tracce di scolo, ecc.). L'esposizione diretta delle barre all'aggressività dell'ambiente esterno può essere causata anche da urti accidentali. La perdita di aderenza acciaio-calcestruzzo indotta dalla fessurazione da splitting e distacco del copriferro causa una maggiore deformabilità che può portare ad osservare difetti correlati quali fessurazioni trasversali indotte dai meccanismi flettenti. La presenza di fessure inclinate deve essere particolarmente attenzionata perché la perdita di aderenza e/o capacità delle armature tese può contribuire a formare meccanismi misti taglio/flessione o meccanismi fragili a taglio.

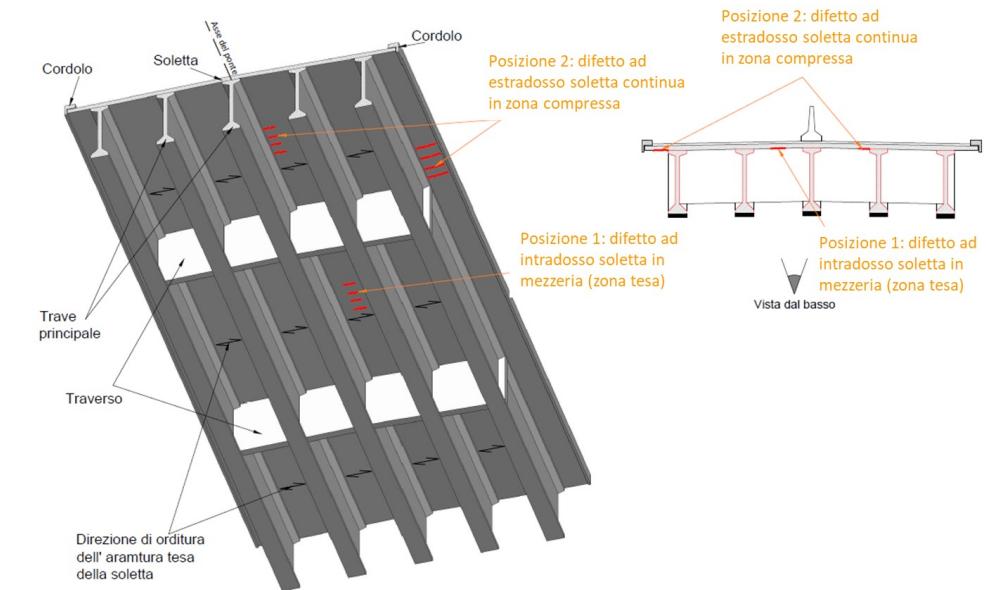
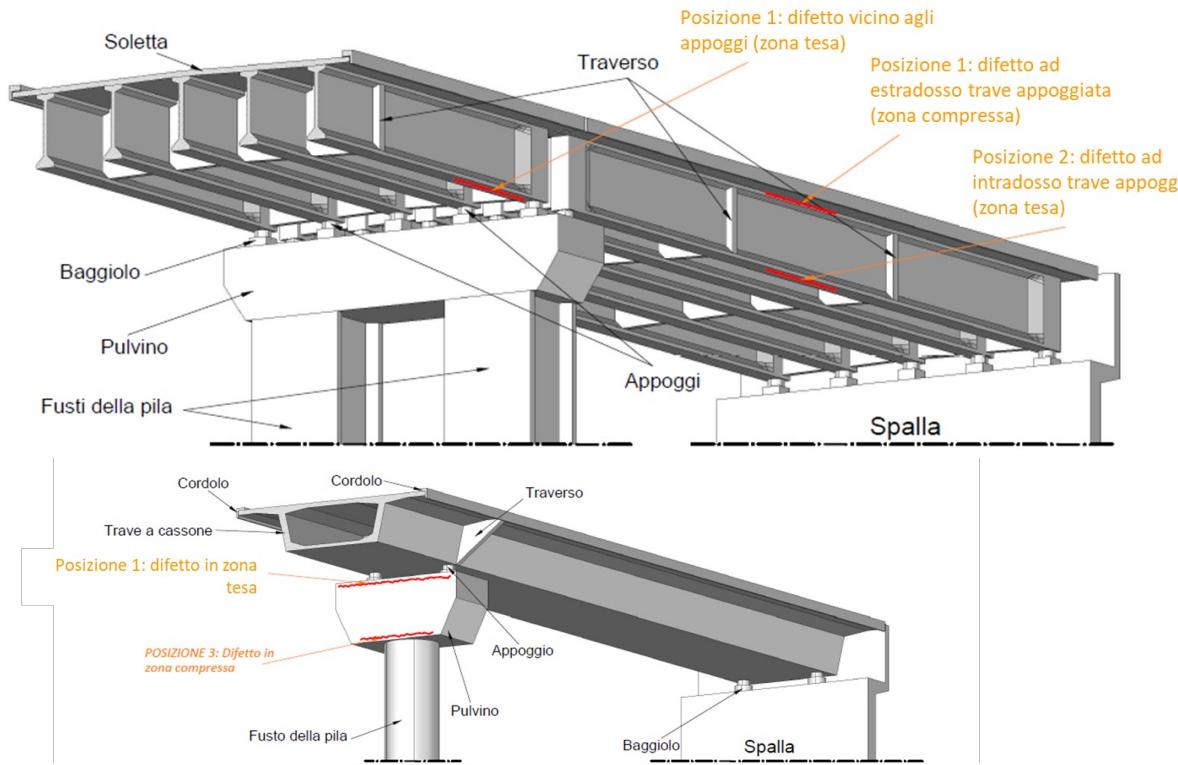


L'intensità si misura dal sintomo visibile come danno del calcestruzzo fino a quando la barra non è a vista

Si introduce esplicitamente il concetto di innescio e propagazione

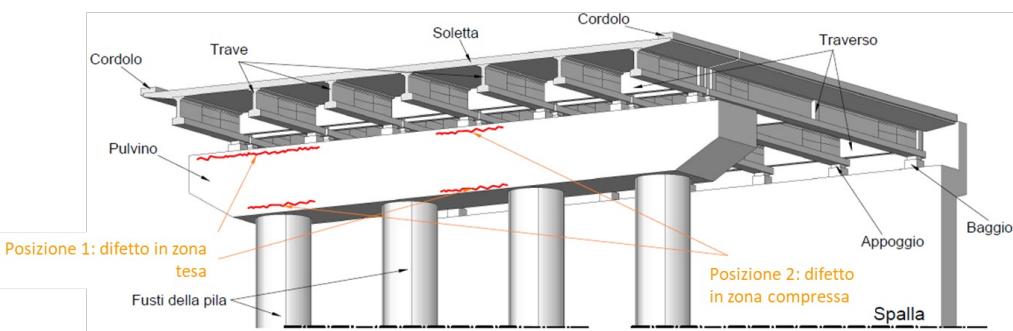
Si introduce la possibilità di considerare l'effetto della posizione sulla gravità

Si chiarisce la misura della estensione

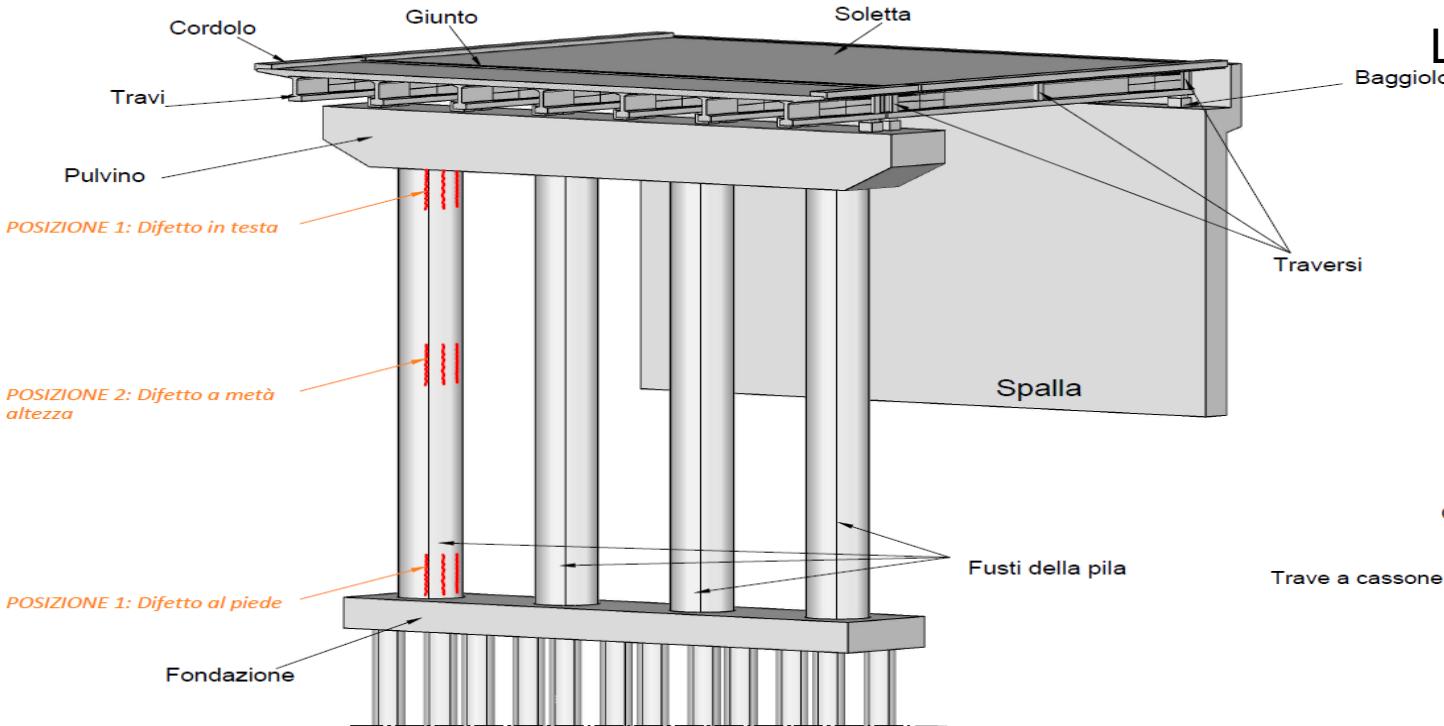
fenomeni corrosivi in fase di propagazione per barre di armatura lenta


La gravità del difetto può dipendere dal suo ruolo nella capacità dello specifico elemento (trave, soletta, pila, ecc...)

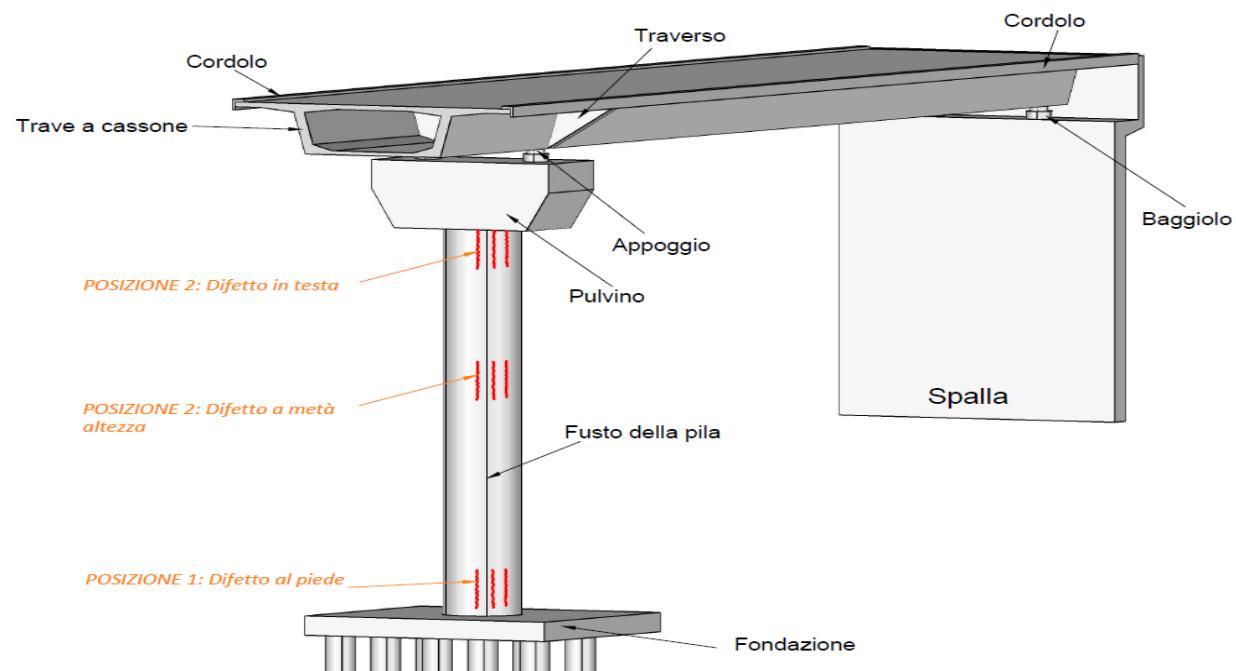
E' importante riconoscere il ruolo dell'armatura nella capacità dell'elemento della struttura e potere ridurre la gravità del fenomeno di corrosione, che deve comunque essere bloccato da un intervento di manutenzione ma non influenza in modo sostanziale una verifica di resistenza



fenomeni corrosivi in fase di propagazione per barre di armatura lenta



L'importanza della posizione dipende anche dallo schema statico





Fenomeni corrosivi in fase di propagazione in staffe/armatura resistente al taglio

Peso del difetto

	G=1	G=2	G=3	G=4	G=5
				Pos.2	Pos.1

* In caso di conoscenza dei dettagli costruttivi

Estensione k_1	0,2	0,5	1
Intensità k_2	0,2 (fessurazione copriferro da splitting)	0,5 (distacco copriferro/staffe a vista corrosive)	1 (evidente perdita di sezione staffe)

Descrizione

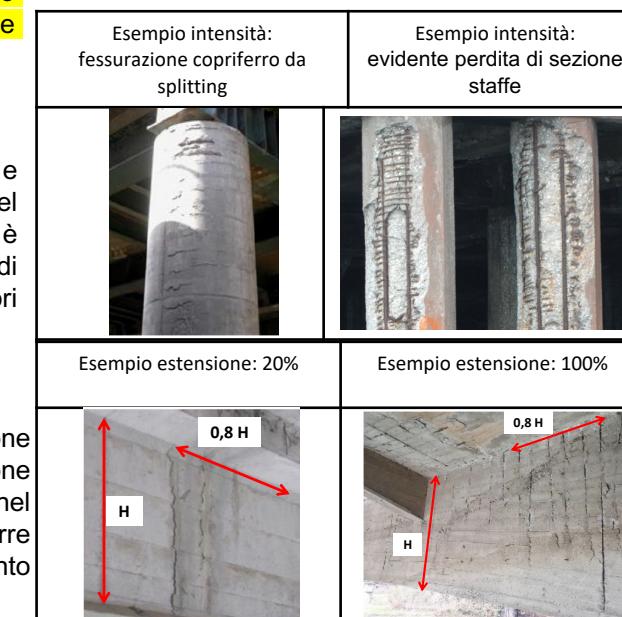
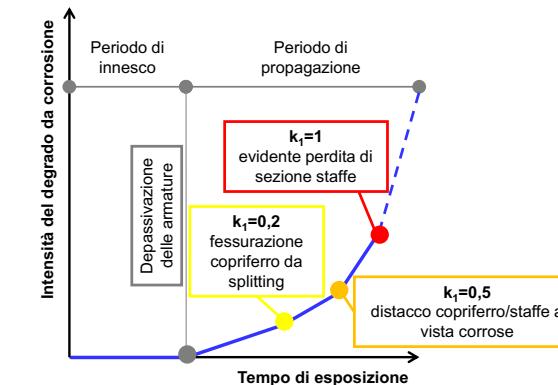
In fase di propagazione della corrosione, a seguito della fase di innesco, nelle staffe, il livello di **intensità** del difetto può essere qualitativamente valutato tramite l'osservazione di segni di degrado superficiali, quali la formazione di fessure da splitting nel copriferro (che seguono lo sviluppo dell'armatura trasversale e dovute all'espansione volumetrica indotta dalla formazione della ruggine), il distacco del copriferro (correlato a perdite di sezione trasversale delle armature maggiori e più estese), l'esposizione diretta delle staffe all'ambiente esterno che corrisponde a elevate velocità di corrosione e perdite di sezione trasversale. Il livello di **estensione** dipende dal rapporto fra il contributo resistente fornito dall'armatura corrosa rispetto all'armatura totale osservato su una lunghezza pari a $0.8H$, con H l'altezza trasversale dell'elemento con difetto. In mancanza di conoscenza della tipologia dell'opera che permetta di quantificare l'armatura totale, si assuma il livello di estensione massimo. La **posizione** del difetto contribuisce alla definizione della **gravità del difetto** nei riguardi della capacità dell'elemento strutturale e deve essere tenuta in conto assegnando un diverso valore di G . La posizione 1 si riferisce a zone in cui la corrosione dell'armatura può comportare la crisi fragile dell'elemento o l'instabilizzazione delle barre longitudinali, la posizione 2 a zone in cui l'armatura corrosa non modifica la capacità complessiva dell'elemento.

Cause

Il periodo di innesco del difetto dipende principalmente dall'aggressività dell'ambiente esterno, dall'umidità e dalla temperatura, dai cicli di bagnatura/asciugatura, dallo spessore di copriferro, dalla porosità del calcestruzzo e dalla presenza di uno stato fessurativo indotto da carichi e/o fenomeni reologici. Il difetto è spesso causato da carenze progettuali/malfunzionamenti dei giunti, delle opere accessorie (ex. sistemi di convogliamento delle acque e di impermeabilizzazione carenti o assenti) o meno frequentemente da errori esecutivi (spessore di copriferro inadeguato, calcestruzzo poroso e/o con vespaio).

Fenomeni di degrado correlati

Il fenomeno si presenta laddove gli effetti di acqua e di umidità sono evidenti sul materiale. La fessurazione da splitting e distacco del copriferro riducono l'efficienza della aderenza acciaio-calcestruzzo, la sezione resistente di calcestruzzo; la perdita di sezione delle staffe provoca una riduzione del confinamento nel nucleo di calcestruzzo ed un aumento dei fenomeni instabilizzanti (soprattutto per azione ciclica) della barre longitudinali compresse, con evidenti ripercussioni nei riguardi della resistenza e della duttilità dell'elemento strutturale.



Fessure longitudinali				
<i>Peso del difetto</i>				
G = 1	G = 2	G = 3	G = 4	G = 5
<i>Descrizione</i>				
Si tratta di lesioni che si sviluppano lungo gli assi longitudinali di elementi quali solette, archi e travi, i quali coincidono con l'asse longitudinale del ponte.				
<i>Cause</i>				
Le fessure longitudinali, generalmente, derivano da errori in fase di progettazione ed esecuzione. Infatti la loro presenza è spesso causata da carenze di armatura trasversale o armature disposte ad interasse troppo elevato, se non per calcestruzzi di scarsa qualità. Altre cause più specifiche possono essere il ritiro differenziale del calcestruzzo o movimenti delle fondazioni, specialmente nelle strutture ad arco e nelle strutture iperstatiche.				
<i>Fenomeni di degrado correlati</i>				
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/ammaloramento del calcestruzzo.				
Il difetto non deve essere confuso con altri tipi di stati fessurativi, quali lesioni in corrispondenza delle staffe o fessure orizzontali, verticali, diagonali e longitudinali . Nel caso in cui le fessure interessano elementi verticali quali spalle o pile si parla di fessure verticali.				

Schede difettologiche	Nº difetto: c.a./c.a.p._19					
Fessure trasversali						
<i>Peso del difetto</i>						
G = 1	G = 2	G = 3	G = 4			
G = 5						
<i>Descrizione</i>						
Si tratta di lesioni che si sviluppano lungo gli assi trasversali di elementi quali travi, traversi, solette e archi. Nel caso di solette e archi, il loro asse trasversale coincide con l'asse trasversale del ponte.						
<i>Cause</i>						
Le fessure trasversali, generalmente, derivano da errori in fase di progettazione ed esecuzione. Infatti la loro presenza è spesso causata da carenze di armatura trasversale o armature disposte ad interasse troppo elevato, se non per calcestruzzi di scarsa qualità. Altre cause più specifiche possono essere il ritiro differenziale del calcestruzzo o movimenti delle fondazioni, specialmente nelle strutture ad arco e nelle strutture iperstatiche.						
<i>Fenomeni di degrado correlati</i>						
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/ammaloramento del calcestruzzo.						
Il difetto non deve essere confuso con altri tipi di stati fessurativi, quali lesioni in corrispondenza delle staffe o fessure orizzontali, verticali, diagonali e longitudinali . Nel caso in cui le fessure interessano elementi verticali quali spalle o pile si parla di fessure verticali.						



Fonte: PROGETTO RAM – Manuale di ispezione principale (Anas GRUPPO FS ITALIANE)



Fessure orizzontali

Peso del difetto

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

Estensione k_1	0,2 (rispetto alla lunghezza significativa)	0,5 (rispetto alla lunghezza significativa)	1 (rispetto alla lunghezza significativa)
Intensità k_2	0,2 (capillare)	0,5 (1 ÷ 2 mm)	1 (> 2 mm)

Descrizione

Si tratta di stati fessurativi con andamento prevalentemente *orizzontale* che compaiono sulle superfici verticali di elementi strutturali quali spalle, pile, pulvini, baggioli e fondazioni.

Spesso si trovano in corrispondenza di riprese di getto e negli elementi costruiti per conci.

Cause

Le lesioni, in generale, derivano da stati di sollecitazione anomali che portano alla rottura del calcestruzzo nelle sezioni più deboli degli elementi, quali quelle in corrispondenza delle riprese di getto, come nel caso in esame. Tali fessurazioni sono favorite nel caso di quantitativi insufficienti di armatura di collegamento tra getti successivi o da disposizioni di armature con interasse elevato, o anche nel caso di getti di diversa qualità o preparazioni inadeguate delle superfici delle riprese stesse.



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/ammaloramento** del calcestruzzo.

È bene considerare solo le discontinuità in corrispondenza delle riprese di getto che implicano una fessurazione chiara e visibile. Il difetto non deve essere confuso con altri tipi di stati fessurativi, quali **lesioni in corrispondenza delle staffe o fessure verticali, diagonali, longitudinali e trasversali**.

Nel caso in cui le fessure orizzontali interessano impalcati, archi o travi si parla di lesioni trasversali o longitudinali.

le fessure per corrosione sono state escluse e si stanno analizzando le fessure dovute a stati tensionali
è importante riconoscere il ruolo dell'armatura nella capacità dell'elemento della struttura

La fessura trasversale all'asse del ponte nella soletta può essere poco importante se la soletta è ordita in direzione trasversale

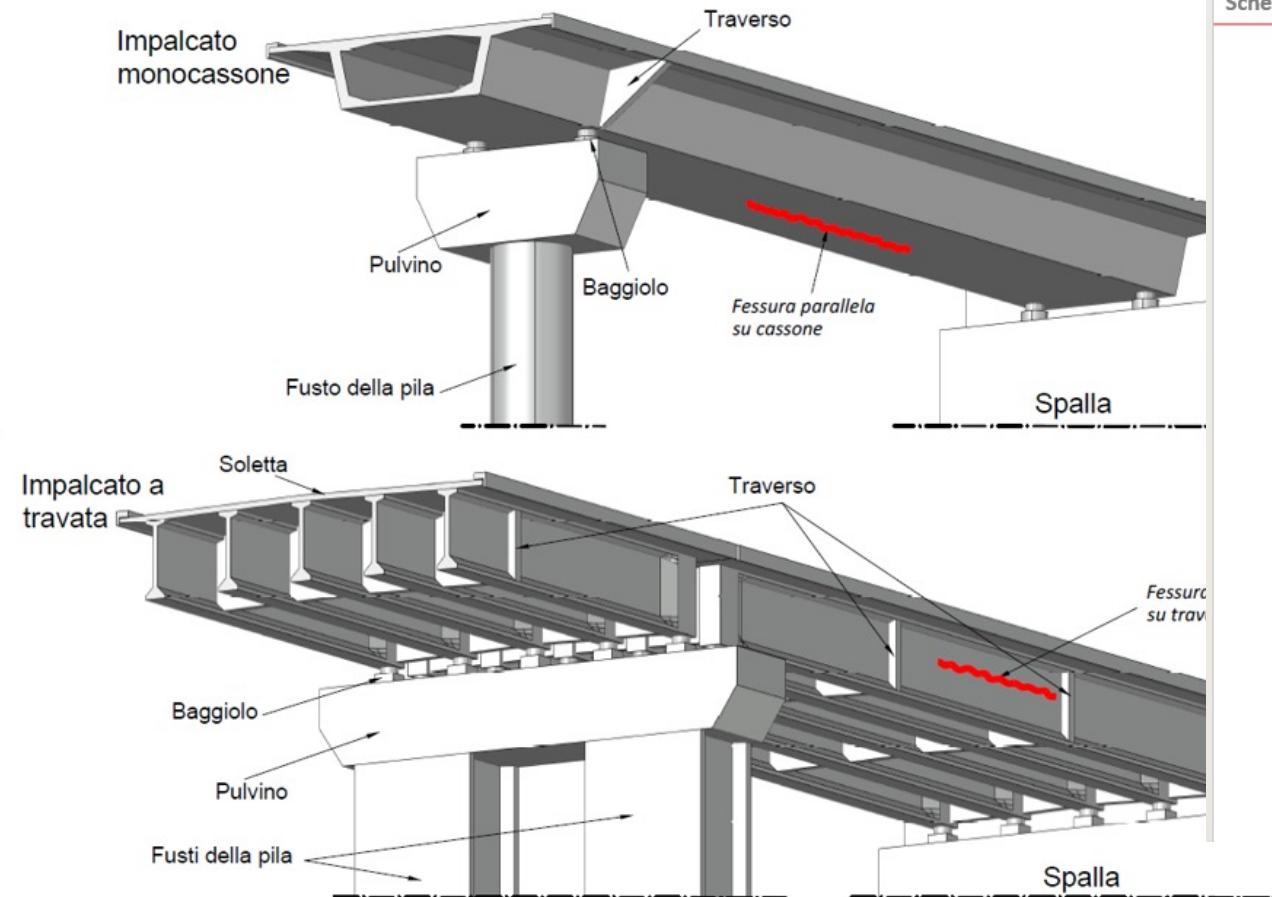
Schede difettologiche					N° difetto: c.a./c.a.p._18			
Fessure parallele all'armatura principale								
Peso del difetto								
G = 1	G = 2	G = 3	G = 4	G = 5	Estensione k_1	0,2 (rispetto alla lunghezza significativa)	0,5 (rispetto alla lunghezza significativa)	1 (rispetto alla lunghezza significativa)
Descrizione					Intensità k_2	0,2 (capillare)	0,5 (1 ÷ 2 mm)	1 (> 2 mm)
<p>Si tratta di lesioni che si sviluppano parallelamente alla direzione dell'armatura principale di elementi quali travi, traversi, solette e archi; ad esempio nel caso di solette è necessario individuare l'orditura principale dell'elemento.</p>								
Cause					<p>Le fessure parallele, generalmente, derivano da errori in fase di progettazione ed esecuzione. Infatti, la loro presenza è spesso causata da carenze di armatura trasversale o armature disposte ad interasse troppo elevato, se non da calcestruzzi di scarsa qualità. Altre cause più specifiche possono essere il ritiro differenziale del calcestruzzo o movimenti delle fondazioni, specialmente nelle strutture ad arco. Nel caso le lesioni siano a fenomeni di ossidazione o corrosione si rimanda alle schede relative alla corrosione di armature nel c.a. o c.a.p.</p>			
Fenomeni di degrado conseguenti					<p>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/ammaloramento del calcestruzzo. Il difetto non deve essere confuso con altri tipi di stati fessurativi, quali lesioni in corrispondenza delle staffe o fessure orizzontali, verticali e diagonali. Nel caso in cui le fessure interessino elementi verticali quali spalle o pile si parla di fessure verticali.</p>			

E' una fessura parallela all'armatura principale

Fessure parallele all'armatura principale

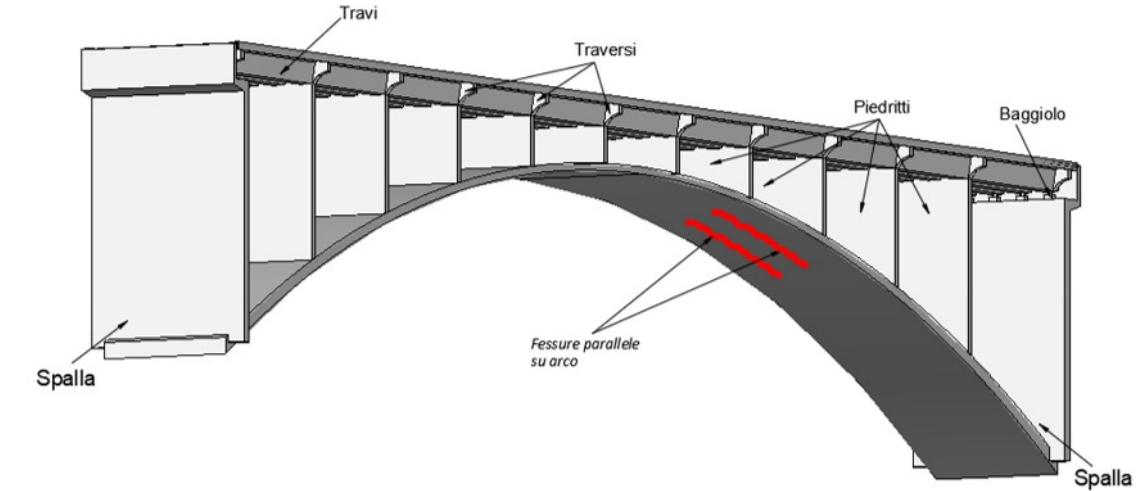
Schede difettologiche

N° difetto: c.a./c.a.p. _18



Schede difettologiche

N° difetto: c.a./c.a.p. _18



cause diverse dalla corrosione sono poco probabili

Schede difettologiche

N° difetto: c.a./c.a.p. _ 19

Fessure ortogonali all'armatura principale

Peso del difetto

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

Estensione k_1	0,2 (rispetto alla lunghezza significativa)	0,5 (rispetto alla lunghezza significativa)	1 (rispetto alla lunghezza significativa)
Intensità k_2	0,2 (capillare)	0,5 (1 ÷ 2 mm)	1 (> 2 mm)

Descrizione

Si tratta di lesioni che si sviluppano ortogonalmente alla direzione dell'armatura principale tesa quali travi, traversi, solette e archi.

*Nel caso di sbalzi di solette, le fessure ortogonali poste all'intradosso della soletta, ossia in zona compressa, hanno peso G=2.

Cause

Le fessure trasversali, generalmente, derivano da errori in fase di progettazione ed esecuzione. Infatti, la loro presenza è spesso causata da carenze di armatura flessionale o armature disposte ad interasse troppo elevato, se non per calcestruzzi di scarsa qualità. Altre cause più specifiche possono essere il ritiro differenziale del calcestruzzo o movimenti delle fondazioni, specialmente nelle strutture ad arco e nelle strutture iperstatiche.

Fenomeni di degrado conseguenti

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/ammaloramento** del calcestruzzo.

Il difetto non deve essere confuso con altri tipi di stati fessurativi, quali **lesioni in corrispondenza delle staffe** o **fessure orizzontali, verticali e diagonali**. Nel caso in cui le fessure interessano elementi verticali quali spalle o pile **si parla di fessure orizzontali**.



Fonte: Protocollo di Intesa del 28-08-2018 fra Regione Toscana, Città Metropolitana di Firenze, UPI Toscana, ANCI Toscana e UniFi-Unipli per la verifica dei ponti delle strade regionali e provinciali

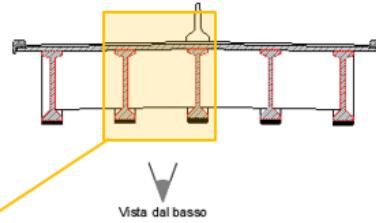
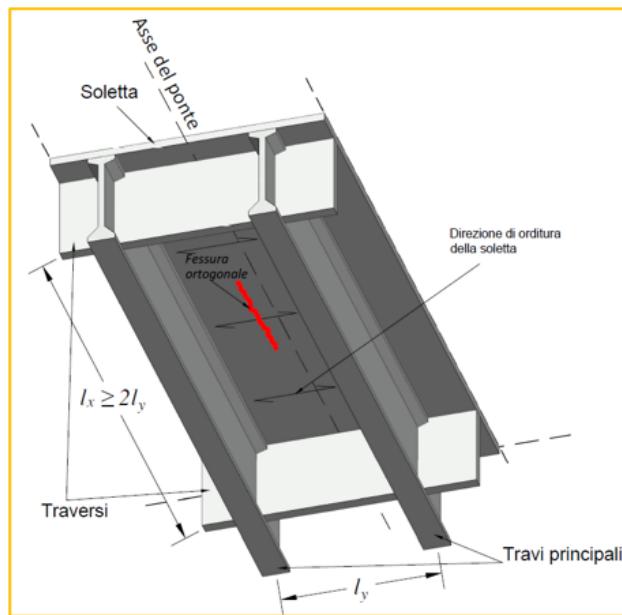


Fonte: Protocollo di Intesa del 28-08-2018 fra Regione Toscana, Città Metropolitana di Firenze, UPI Toscana, ANCI Toscana e UniFi-Unipli per la verifica dei ponti delle strade regionali e provinciali

Fessure ortogonali all'armatura principale

Schede difettologiche

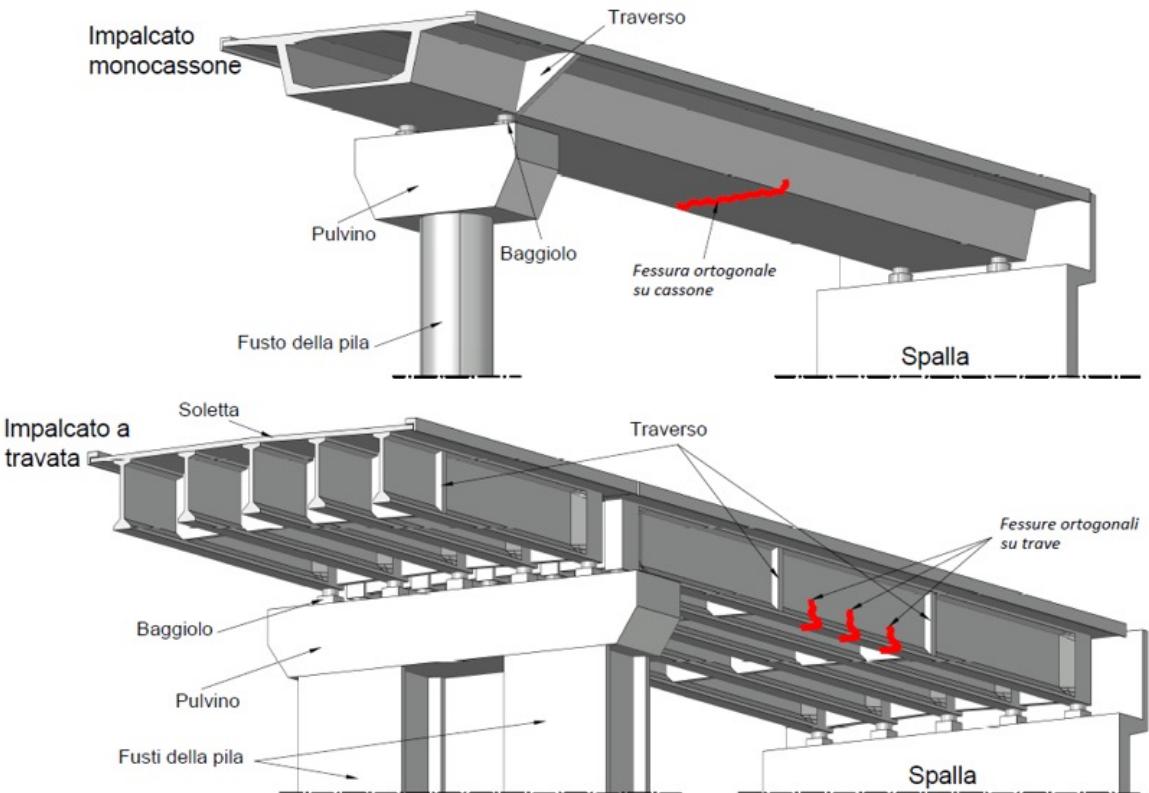
N° difetto: c.a./c.a.p._19



Fessure per flessione

Schede difettologiche

N° difetto: c.a./c.a.p._19



Cause diverse dalla corrosione sono molto probabili soprattutto se il fenomeno riguarda le sezioni più sollecitate

Come si può stabilire una intensità quantitativa sulla perdita di sezione resistente visivamente? L'estensione riguarda il singolo filo

N° difetto: c.a.p._8

Fili aderenti in vista ossidati

Peso del difetto

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

Descrizione

Il difetto si riferisce all'esposizione dell'armatura di precompressione di elementi in c.a.p. a cavi aderenti e alla loro conseguente ossidazione.

Cause

L'ossidazione delle armature è evidente nel caso di distacco di calcestruzzo, laddove esso sia particolarmente ammalorato a causa dell'azione erosiva delle acque meteoriche. Il distacco di copriferro e la conseguente esposizione dell'armatura è più probabile nel caso di materiale di scarsa qualità.

Fenomeni di degrado correlati

Il fenomeno si concentra in corrispondenza di zone di **calcestruzzo dilavato/ammalorato**. La sua evoluzione può causare la corrosione dei fili e quindi la **riduzione dell'armatura di precompressione**.

Per le caratteristiche stesse della tecnologia di precompressione a cavi aderenti, tale difetto si manifesta raramente, salvo situazioni particolari.

Estensione k_1	0,2 (appena presente)	0,5 (~50% superficie)	1 (~tutta la superficie)
Intensità k_2	0,2 (ossidata)	0,5 (Intaccata la sezione del filo)	1 (Corrosa con diminuz. di sezione)



Fonte: PROGETTO RAM – Manuale di ispezione principale (Anas GRUPPO FS ITALIANE)



Fonte: PROGETTO RAM – Manuale di ispezione principale (Anas GRUPPO FS ITALIANE)



Fenomeni corrosivi in fase di propagazione per armatura di post-tensione

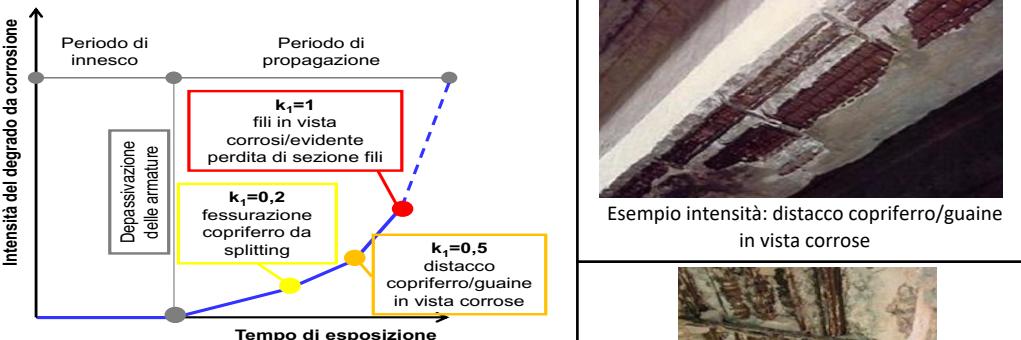
Peso del difetto

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

Descrizione

In fase di propagazione, a seguito della fase di innesto della corrosione nei cavi o nelle guaine metalliche, il livello di **intensità** del difetto non può essere valutato solo tramite esame visivo. La presenza di vuoti nelle guaine, dovuta a difetti di iniezione della malta, può permettere l'espansione dei prodotti della corrosione dei cavi senza che appaiano difetti superficiali, quali fessurazioni da splitting o distacchi del copriferro. D'altro canto il rilievo di difetti superficiali può comunque fornire un'indicazione qualitativa ma non esaustiva dell'intensità della corrosione, quali la formazione di fessure da splitting nel copriferro (che seguono lo sviluppo longitudinale delle guaine), il distacco del copriferro con conseguente guaine in vista, la rottura della guaine e conseguente esposizione diretta delle armature da precompressione all'ambiente esterno.

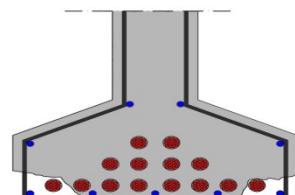
Estensione k_1	0,2	0,5	1
Intensità k_2	0,2 (fessurazione copriferro da splitting)	0,5 (distacco copriferro/guaine in vista corroso)	1 (fili in vista corrosi/evidente perdita di sezione fili)



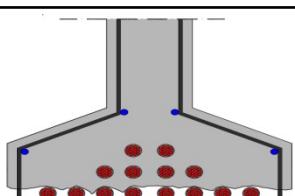
Esempio intensità: distacco copriferro/guaine in vista corrosi



Esempio intensità: fili in vista corrosi/rottura fili



Esempio estensione: 20%



Esempio estensione: 100%

Cause

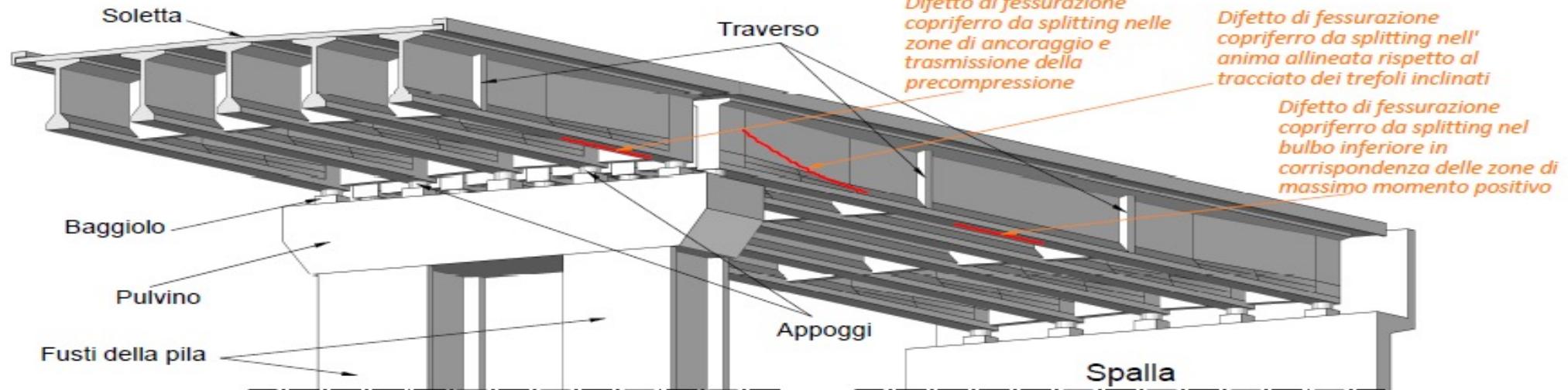
L'innesto e la propagazione della corrosione nell'armatura post-tesa è dovuta alla penetrazione di acqua all'interno delle guaine e è in genere accentuato dalla non completa o mancata iniezione delle stesse. La penetrazione dell'acqua all'interno delle guaine è spesso causata da carenze progettuali/malfunzionamenti dei giunti, delle opere accessorie (sistemi di convogliamento delle acque e di impermeabilizzazione carenti o assenti) o meno frequentemente da errori esecutivi (spessore di copriferro inadeguato, guaine molto ravvicinate, calcestruzzo poroso e/o con vespai o guaine non intasate correttamente).

Fenomeni di degrado correlati

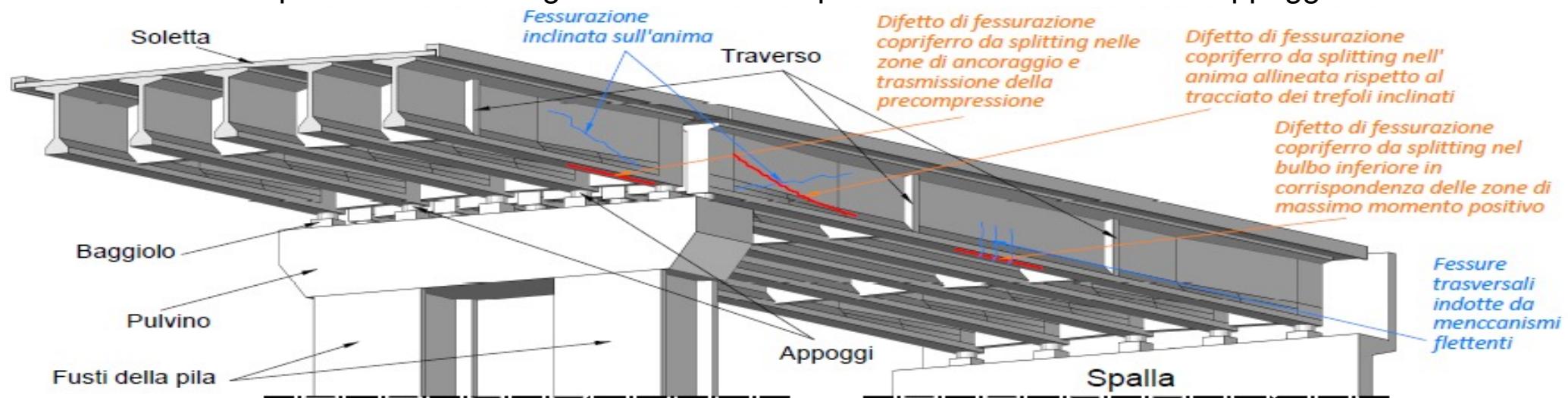
Il fenomeno può essere accompagnato da segni evidenti della fase di innesto (ex. macchie di umidità lungo il tracciato delle guaine, ecc.). L'esposizione diretta delle guaine e dei cavi all'aggressività dell'ambiente esterno può essere causata anche da urti accidentali. I fenomeni corrosivi nell'armatura post-tesa possono causare decompressione delle sezioni ove il difetto si localizza, rilevabile con l'osservazione di difetti correlati quali fessurazioni trasversali indotte dai meccanismi flettenti. La presenza di fessure inclinate deve essere particolarmente attenzionata poiché correlabile a rotture di cavi post-tesi lungo il tracciato con conseguente riduzione della capacità resistente al taglio.

Posizione dei fenomeni corrosivi in fase di propagazione per armatura post-tesa

Esempio posizioni critiche del difetto in travi appoggiate



Esempio fenomeni di degrado correlati alla presenza del difetto in travi appoggiate



Se c'è il fenomeno della corrosione a volte vengono segnati 3 difetti che hanno G diversi (fessurazione, distacco del copriferro, corrosione) mentre si tratta solo di sintomi diversi dello stesso difetto:

- Fessura lungo l'armatura/cavo
 - Distacco del copriferro
 - Ossidazione dell'armatura
 - Corrosione dell'armatura con difficoltà nell'individuare l'intensità in termini di sezione resistente intaccata e di estensione (estensione ed intensità sono anche direttamente collegate perché si riferiscono sempre alla quantità di sezione resistente della barra/filo intaccata)
 - il peso G della corrosione dipende dall'importanza in termini di sicurezza strutturale della localizzazione
 - l'estensione della corrosione non riguarda la lunghezza della barra ma il numero di barre che influenzano il meccanismo di crisi

La proposta nella scheda di ispezione

Misurare l'intensità del fenomeno della corrosione in modo indiretto attraverso il sintomo visibile avendo quindi un solo difetto con 3 livelli di intensità. G dipende dalla collocazione del difetto. L'intensità dipende dal numero di barre/fili interessati dal fenomeno nella stessa sezione resistente

Le modifiche alle schede di ispezione

Scheda Ispezione Ponti di Livello 1

15		Travi/Traversi N _____ C.A.P.	Strada di appartenenza: Tecnico rilevatore:	Progressiva km: Data ispezione: / /							
N°	Descrizione difetto	visio	G			Estensione K1			Intensità K2		
			pos 1	pos 2	pos 3	0,2	0,5	1	0,2	0,5	1
c.a/c.a.p._1	Macchie di umidità passiva		1								x
c.a/c.a.p._2	Macchie di umidità attiva		3								x
Dif. Gen 1	Tracce di scolo		3								x
c.a./c.a.p._3	Cls dilavato / ammalorato		3								x
c.a./c.a.p._21	Cls dilavato / ammalorato Testate		4						x		x
Dif.Gen 2	Ristagni d'acqua		2								x
Dif.Gen 5	Ristagni d'acqua nei cassoni		4								x
c.a.p_10	Umidità dall'interno		2								x
c.a./c.a.p._4	Vespai		2								x
c.a./c.a.p._5	Distacco del copriferro		2								x
c.a./c.a.p._12	Riprese successive deteriorate		1								x
Dif. Gen 3	Danni da urto		4						x		
c.a./c.a.p._6	Fenomeni corrosivi in fase di propagazione per barre di armatura lenta		4	3	2						
	fessurazione copriferro da splitting								x		
	distacco copriferro/armatura a vista corrosa								x		
	evidente perdita di sezione barre								x		
c.a./c.a.p._16	Fenomeni corrosivi in fase di propagazione per staffe		5	4					x		
	fessurazione copriferro da splitting								x		
	distacco copriferro/staffe a vista corrosi								x		
	evidente perdita di sezione staffe								x		
c.a./c.a.p._7	Lesioni a ragnatela modeste		1								x
c.a./c.a.p._17	Armatura longitudinale deformata/rotta		5	4	3				x		x
c.a./c.a.p._23	Staffe deformate/rotte										x
c.a./c.a.p._22	Lesioni / distacco travi traversi		3								
c.a./c.a.p._10	Fessure diagonali		5								
c.a./c.a.p._19	Fessure ortogonali all'armatura principale		5								
c.a./c.a.p._18	Fessure parallele all'armatura principale		2								
Difetti sistemi in c.a.p. pre-tesi											
c.a.p_8	Fenomeni corrosivi in fase di propagazione per armatura pre-tesa		5						x		
	fessurazione copriferro da splitting								x		
	distacco copriferro/fili a vista corrosi								x		
	evidente perdita di sezione fili								x		
c.a.p_1	Lesioni capillari agli ancoraggi		1								x
c.a.p_11	Arm. Scoperta / ossidata testate		5								
Difetti sistemi in c.a.p. post-tesi											
c.a/c.a.p._2	Macchie di umidità attiva lungo il tracciato delle guaine		4								x
c.a.p_9	Fenomeni corrosivi in fase di propagazione per armatura di post-tensione		5						x		
	fessurazione copriferro da splitting/distacco copriferro								x		
	distacco copriferro/guaine in vista corrosi								x		
	fili in vista corrosi/evidente perdita di sezione fili								x		
c.a.p_6	guaine in vista		2								x
c.a.p_2	Testate di ancoraggio non sigill.		2								x
c.a.p_3	Distacco tamponi testate		1								x
c.a.p_11	Arm. Scoperta / ossidata testate		4								
c.a.p_12	Fuoriuscita barre ancoraggio		5								x
c.a.p_4	Lesioni su anima lungo i cavi		2								
c.a.p_5	Lesioni lungo suola del bulbo		2								

Schede difettologiche

N° difetto: Acc_1

Difetti di saldatura

Peso del difetto

Pos. 1	G = 1	G = 2	G = 3	G = 4	G = 5
Pos. 2	G = 1	G = 2	G = 3	G = 4	G = 5

Estensione k_1	0,2 (appena presente)	0,5 ($\approx 50\%$ della superficie)	1 (tutta la superficie)
------------------	-----------------------	--	-------------------------

Intensità k_2	Sempre = 1
-----------------	------------

Descrizione

La posizione del difetto può essere importante per le valutazioni della gravità conoscendo il ruolo dei vari componenti nella struttura

I difetti, localizzati lungo lo sviluppo dei cordoni di saldatura, risultano particolarmente pericolosi poiché riducono i valori di resistenza e tenacità del giunto saldato e con il tempo possono causare la frattura della saldatura stessa. Essi si manifestano sotto forma di:

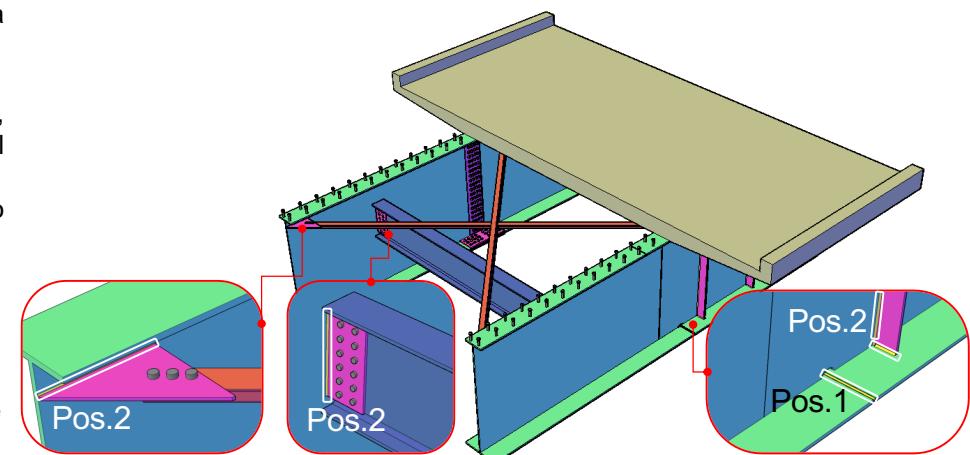
- cricche, ossia microlesioni o fessurazioni sui cordoni di saldatura;
- inclusioni di natura solida e gassosa o soffiature superficiali, riconoscibili dalla presenza di piccoli crateri sulla superficie del cordone;
- irregolarità sulle maglie del cordone con evidente variazione del suo profilo per presenza di avallamenti, irregolarità dei bordi, ecc.

Cause

L'origine di tali fenomeni si può far risalire ad errori o problematiche insorte durante l'esecuzione della saldatura stessa, quali scelta di materiali e/o tecniche non adeguate, condizioni di esecuzione non favorevoli e scarsa capacità del saldatore.

Fenomeni di degrado correlati e consequenti

L'evoluzione di tali difetti potrebbe comportare la completa **rottura della saldatura**, per cui è bene valutarne l'entità (ad esempio, se sono presenti lesioni passanti dovranno indicarsi come rotture di saldatura). Particolare attenzione deve essere posta in presenza di nodi perché si potrebbe ricadere nel caso di **lesione ai nodi**.



Fonte: PROGETTO RAM – Manuale di ispezione principale (Anas GRUPPO FS ITALIANE)

Osservazioni conclusive

Sono state revisionate 60 schede difettologiche, sviluppandone anche alcune nuove

Sono state modificate le schede di ispezione e introdotte le schede di ispezione per le selle Gerber

I difetti sono stati meglio correlati alle eventuali cause

La gravità è stata revisionata collegandola in alcuni casi anche alla collocazione del difetto

L'intensità e l'estensione sono state meglio specificate e possono incidere sulla classe di attenzione

I metodi semplificati di valutazione del rischio mediate ispezioni richiedono molte risorse ma possono fornire informazioni importanti oltre alla classe di attenzione se ben calibrati

Accordo Tecnico tra il CSLLPP ed il Consorzio ReLUIS attuativo del DM 578/2020 e DM 204/2022

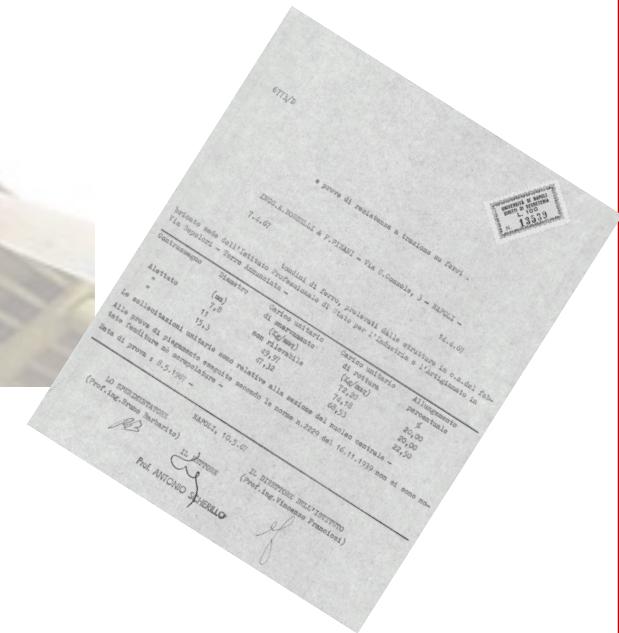
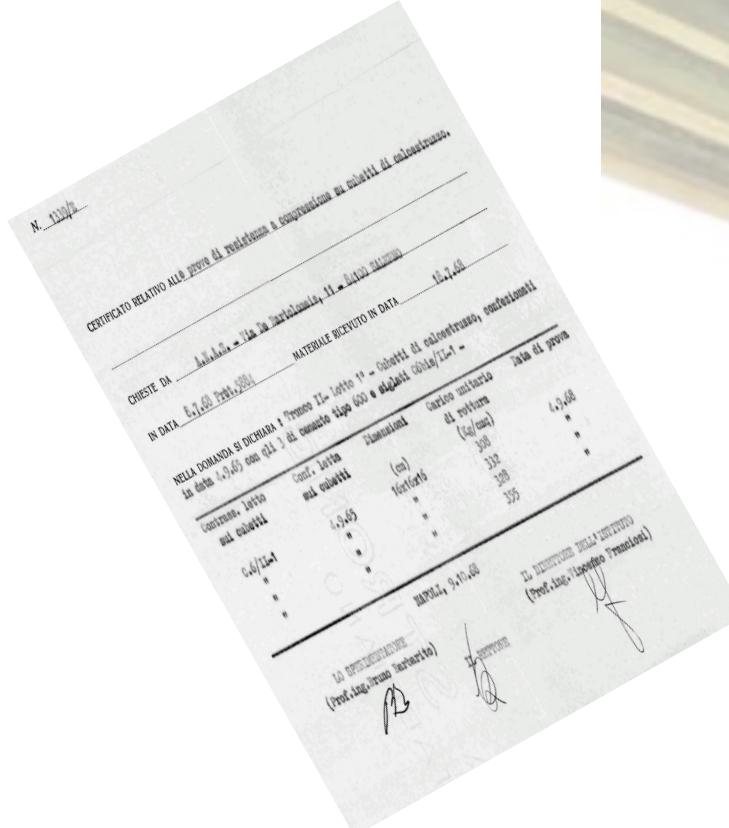
Sperimentazione delle Linee Guida per i ponti esistenti

CONVEGNO FINALE

19,20 e 21 novembre 2025

L'importanza dei dati storici

Antonio Bilotta e Maria Rosaria Pecce
Università di Napoli Federico II



**Le prove eseguite durante la costruzione sono importanti:
non può essere solo fortuna averli a disposizione**

gli archivi dei certificati di prova sono preziosi



Molto utili per i concessionari e lo sviluppo delle verifiche di livello 4

Le prove in situ sono afflitte dall'affidabilità della tecnica di prova anche in relazione al materiale (granulometria inerte, degrado superficiale, corrosione)

dati di collaudo della specifica opera

dati statistici sulla resistenza dell'epoca per tipo di materiale

Correlazione tra i dati in situ attuali e quelli dell'epoca

Analisi per la revisione dei fattori parziali di sicurezza

Indispensabili in assenza di progetti per tipologie di opere dell'epoca

La disponibilità di grandi moli di dati può consentire di rivedere i fattori parziali di sicurezza.

Ma la metodologia è ancora più importante per recuperare altri archivi

- Circa **80000** fascicoli di prove **dalla fine dell'800** ad oggi
- Per un lungo periodo è stato l'unico laboratorio per tutte le **opere del centro-sud**
- Finora sono stati elaborati solo **alcuni dati rilevati manualmente** da alcune pratiche
- Il numero delle pratiche e dei dati contenuti richiede un **gran numero di ore/uomo**
- Lo sviluppo di una **metodologia automatica** consentirebbe il recupero anche di altri archivi

Attività sperimentale di riconoscimento mediante algoritmi di intelligenza artificiale

Principali problematiche

- Raccolta dei dati:** scegliere cosa analizzare per primo (influisce su addestramento/performance)
- Scansione:** alcuni documenti sono difficilmente leggibili a prescindere dalla tecnologia di scansione
- Analisi dell'output:** normalizzazione dei campi dati attraverso formati differenti
- In fase di inferenza:** moduli e tabelle cambiano formato nel corso degli anni

Il framework dell'attività

Raccolta



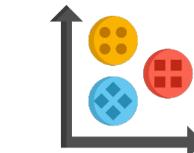
Filtraggio



Scansione



Clustering



Inferenza



Multimodal LLM

Prompt
Tuning



Analisi Output



Post-processing con
esperto di dominio

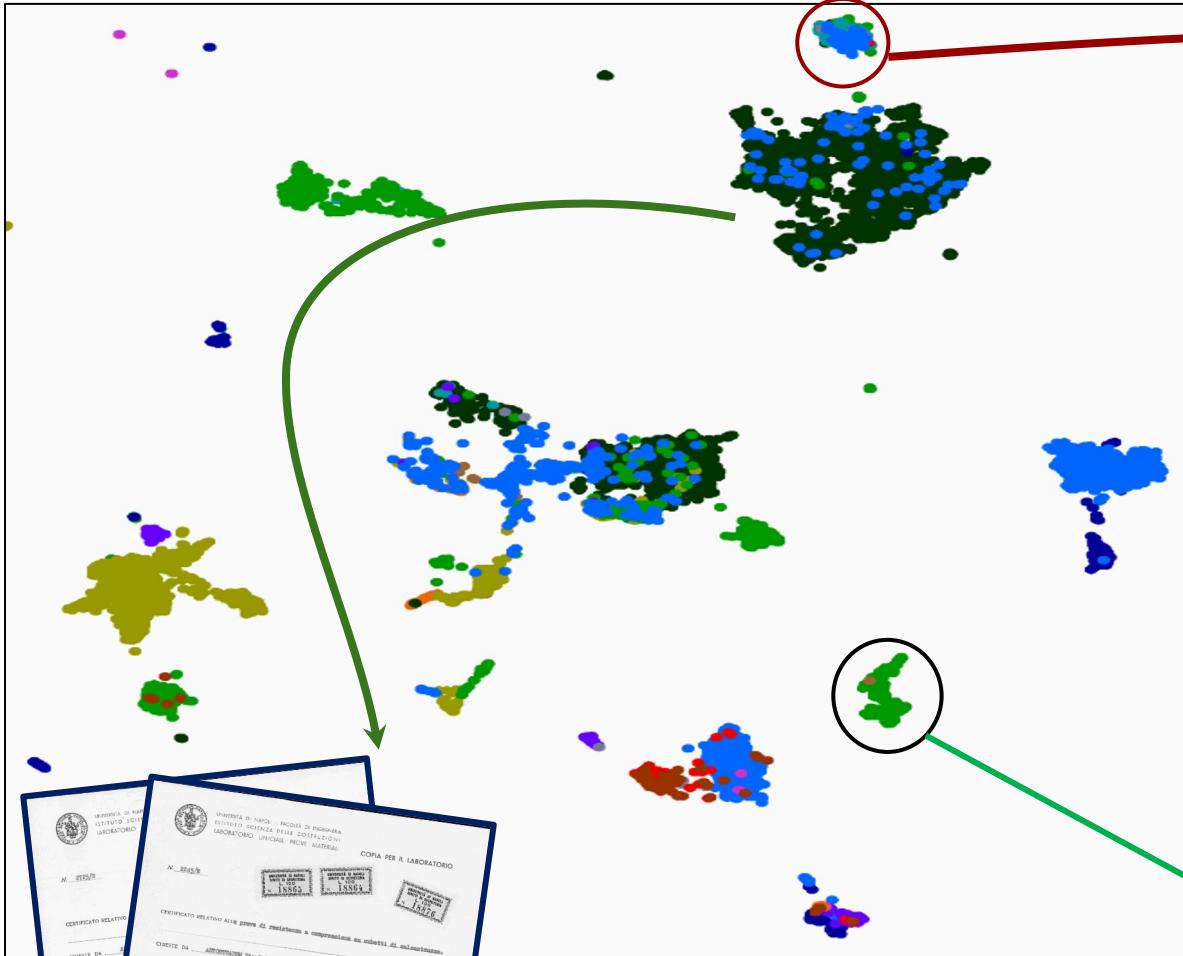
Importante la tecnica per
identificare il tipo di errore
e mettere a punto la
metodologia di riduzione

Dati digitalizzati e
Consultabili



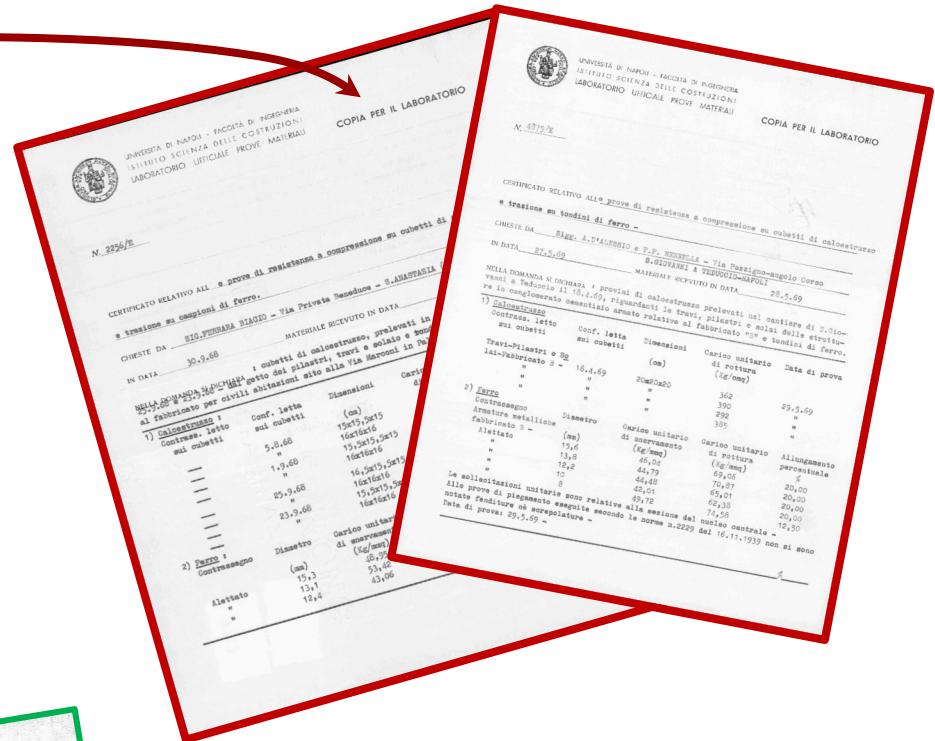
Il campione analizzato e i primi risultati

clustering



solo calcestruzzo

calcestruzzo e acciaio



poco leggibili

Il campione analizzato e i primi risultati

N. 1339/R.

CERTIFICATO RELATIVO ALLE prove di resistenza a compressione su cubetti di calcestruzzo.

CHIESTE DA A.N.A.S. - Via De Bartolomeis, 11 - 84100 SALERNO

IN DATA 8.7.68 Prot.5884 MATERIALE RICEVUTO IN DATA 18.7.68

NELLA DOMANDA SI DICHIARA : Tronco II- Letto 1° - Cubetti di calcestruzzo, confezionati in data 4.9.65 con qli 3 di cemento tipo 600 e siglati C6bis/IL-1 -

Contrass. letto	Conf. letta	Dimensioni	Carico unitario	Data di prova
sui cubetti	sui cubetti	(cm)	di rottura	
C.6/IL-1	4.9.65	16x16x16	308	4.9.68
"	"	"	332	"
"	"	"	328	"
"	"	"	355	"

NAPOLI, 9.10.68

LO SPERIMENTATORE
(Prof.ing. Bruno Barbarito)

IL DIRETTORE DELL'ISTITUTO
(Prof.ing. Vincenzo Franciosi)

[Signatures]

Calcestruzzo

tipo di opera

edilizia pubblica

scuola	203
cimitero	18
altro	25

edilizia residenziale

edificio	930
ville	192

infrastrutture

ponti	4990
gallerie	289
altro	145

altre tipologie

TOTALE	7615
	823

committente

ditta	177 autostrade	6066 soc.	458
consorzio	195 anas	31 impresa	3876
coop	60 A.N.A.S	1871	
ing	2114 infrasud	282	
sig	873 S.P.E.A.	692	
geom	341 cassa	440	
arch	64		
prov	135		
comun	73		
istituto	573		
genio	140		
direzion	143		

4888

9382

4334 subtotali 18604

Altro 1718

TOTALE 20322

Acciaio

6773/D

e prove di resistenza a trazione su ferri .

INGG.A.BORSELLI & F.PISANI - Via C.Consolo, 3 - NAPOLI -

7.4.67 14.4.67

tondini di ferro, prelevati dalle strutture in c.a.del fabbricato sede dell'Istituto Professionale di Stato per l'Industria e l'Artigianato in Via Sepolcri - Torre Annunziata -

Contrassegno	Diametro	Carico unitario	Carico unitario	Allungamento
	(mm)	di snervamento	di rottura	percentuale
Alettato	7,8	non rilevabile	72,20	20,00
"	11	49,97	74,18	20,00
"	15,3	47,32	68,53	22,50

Le sollecitazioni unitarie sono relative alla sezione del nucleo centrale -

Alle prove di piegamento eseguite secondo le norme n.2229 del 16.11.1939 non si sono note fenditure né screpolature -

Data di prova : 8.5.1967 -

NAPOLI, 10.5.67

LO SPERIMENTATORE
(Prof.ing. Bruno Barbarito)

IL DIRETTORE DELL'ISTITUTO
(Prof.ing. Vincenzo Franciosi)

[Signatures]

Prof. ANTONIO SCHERILLO

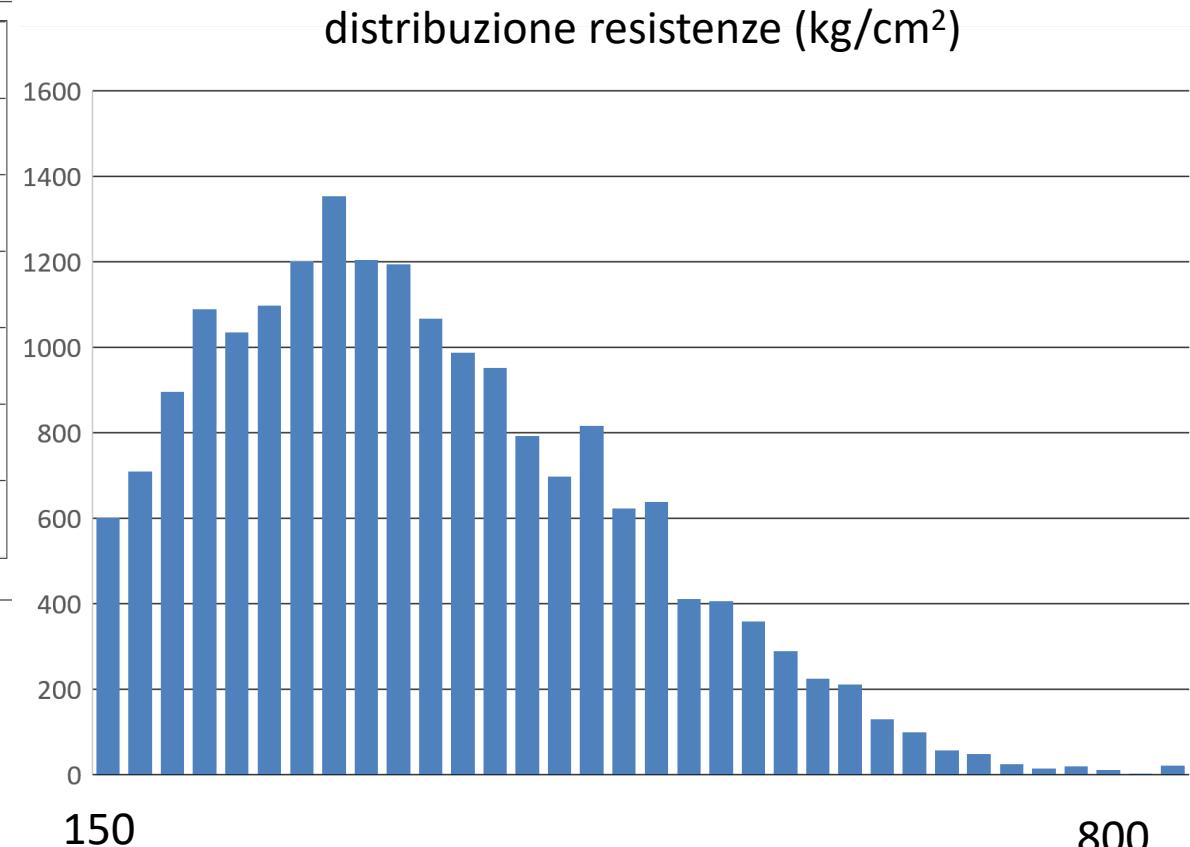
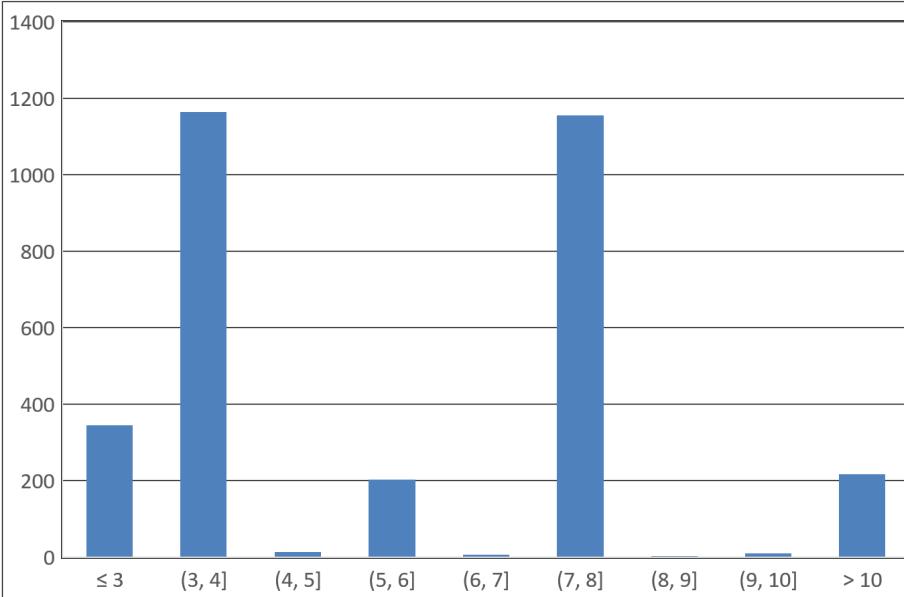
Il campione analizzato e i primi risultati

Calcestruzzo: maggior numero di prove negli anni '60

prove

Numero di prove per certificato

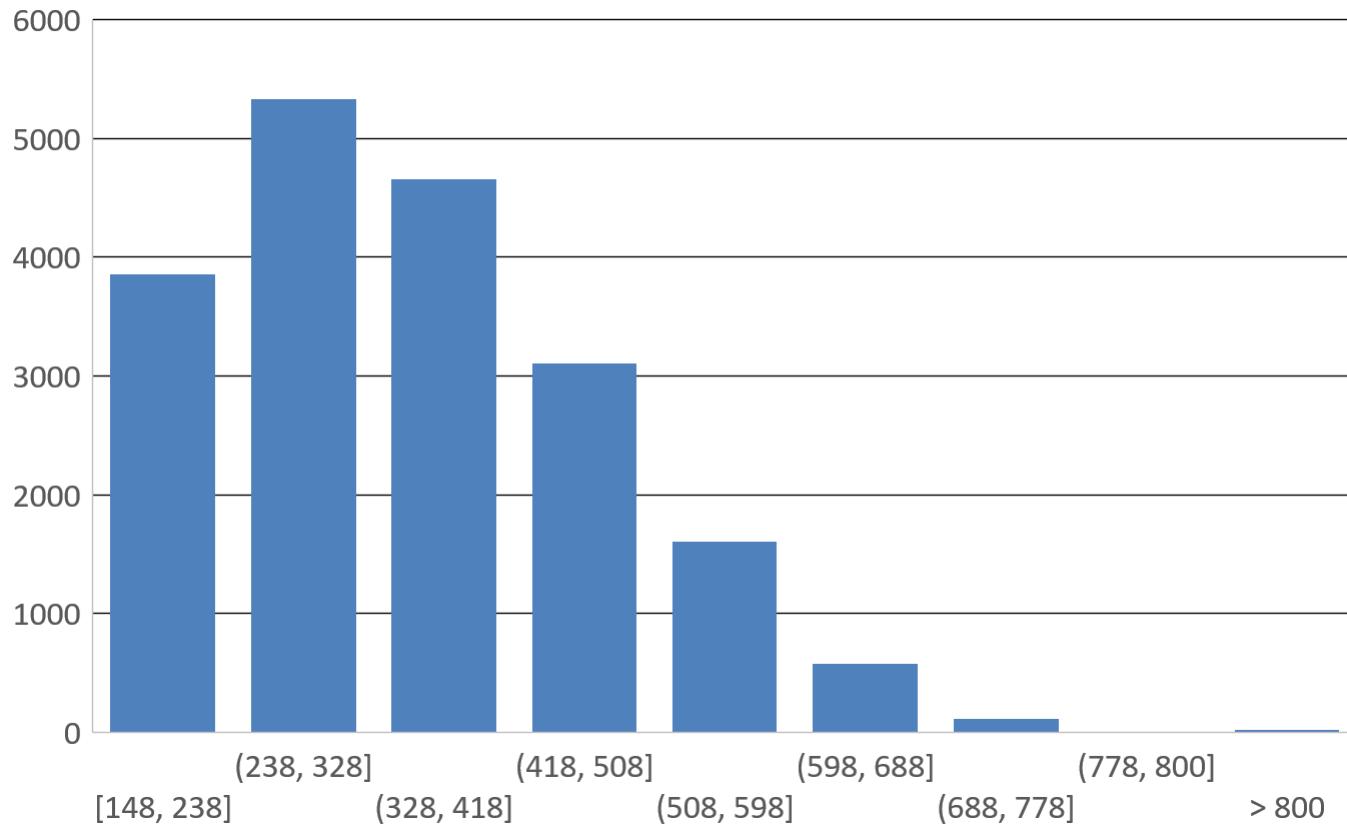
anno	numero
1956	8
1961	44
1963	36
1964	834
1965	253
1966	1282
1967	6204
1968	3586
1969	5985
1970	28
1971	53
1972	8
1973	539
1976	4
1980	4
1985	116
1987	2
1990	24
1991	184
1992	4
2002	4
TOTALE	19202



Il campione analizzato e i primi risultati

calcestruzzo

distribuzione resistenze (kg/cm^2)



Il campione analizzato e i primi risultati

anno	numero
1965	148
1967	1408
1969	1723
1961	212
1964	215
1963	141
1991	14
1968	412
1966	368
1960	54
1956	24
TOTALE	4719

acciaio

