

# CONVEGNO

## ***“Monitoraggio e diagnostica strutturale applicata ai ponti. Esperienze Americane ed Italiane a confronto.”***

***“La diagnostica attività indispensabile per la corretta progettazione del monitoraggio strutturale.”***

***Relatore: dott. ing. Vincenzo Domenico Venturi  
(v. presidente ALIG)***

***Presso: Aula Magna del Politecnico di Torino  
Corso Duca degli Abruzzi***

Torino, 11 giugno 2019

Il nostro patrimonio edilizio ed infrastrutturale è in gran parte obsoleto, per questa ragione il monitoraggio strutturale, e la valutazione della sicurezza delle costruzioni esistenti, sono in questo momento argomenti di grande interesse, che vedono coinvolto non solo il mondo accademico ma anche il mondo politico, degli Enti gestori e dell' Impresa.

Troppe volte nella nostra vita, professionale e no, ci imbattiamo in manufatti che, qualitativamente, possono essere considerati al "*termine della vita utile*" ed ai quali viene consentito l'esercizio solo per "*incuria*" ed "*irresponsabilità*", atteggiamento che varia solo in coincidenza di qualche evento drammatico che, solo apparentemente, rianima il dibattito mediatico sulla "*sicurezza*" e sulla "*pubblica incolumità*" delle infrastrutture ma che, nella sostanza, purtroppo non trova alcun riscontro pratico, in quanto troppo spesso deve rispondere alla necessità di soluzioni compatibili con i tempi dei dibattiti televisivi.



Si deve però convenire che dopo i crolli degli ultimi anni sia l'attenzione dei media, e dell'opinione pubblica, alla quale non sempre si può attribuire una valenza positiva, che l'interesse generale, degli addetti ai lavori, sui temi della "*sicurezza*" e del "*monitoraggio strutturale*", confermano l'esigenza e la priorità di poter disporre di **indagini strutturali affidabili, ripetibili e riproducibili** complementari a **sistemi di monitoraggio semplici, economici, efficaci ed efficienti**.

Per questa ragione è necessario ribadire la complementarietà che intercorre fra le “*indagini strutturali*”, necessarie per la corretta definizione del modello strutturale e delle soglie di allarme, ed il “*sistema di monitoraggio*”, dal quale essere allertati nel momento in cui le condizioni, probabilistiche, di sicurezza non fossero più garantite.

In maniera analoga, nelle *Nuove Costruzioni*, l’efficienza di un “*sistema di monitoraggio*” è sempre subordinata alla buona conoscenza delle caratteristiche, fisiche, chimiche e meccaniche dei materiali e delle sollecitazioni e nelle *Costruzioni Esistenti* queste informazioni devono essere sempre integrate dalla conoscenza delle effettive condizioni di esercizio e dalla stima della consistenza del quadro fessurativo e del degrado.

Prendendo spunto da questa necessaria premessa si deve constatare che le *NTC 2018*, che pure prevedono di stabilire i “*criteri generali per la valutazione della sicurezza*” ed infatti dichiarano, al *cap. 8 Costruzioni esistenti*, quanto segue:

**“...Il presente capitolo (cap. 8) stabilisce i criteri generali per la valutazione della sicurezza e per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo degli interventi sulle costruzioni esistenti.”**

nulla dicono sulla gestione, manutenzione e stima della sicurezza del costruito, ovvero dell’esistente in esercizio.

L’argomento della valutazione della sicurezza di un’opera nelle “*Costruzioni Esistenti*” viene affrontato, nelle *NTC 2018*, allo stesso modo, sia che si tratti dell’esistente in esercizio, magari dai primi del “900”, che del nuovo appena realizzato. Esemplicando: l’approccio previsto dalle *NTC 2018* è lo stesso sia nel caso del nuovo viadotto strallato “*Favazzina*” sulla *A3 SA-RC* che del *viadotto della Magliana* sul raccordo della *Roma – Fiumicino*, infatti il *cap. 8* delle *NTC 2018* così “*chiarisce*”:

**“Si definisce “*Costruzione Esistente*” quella che ha, alla data della redazione della valutazione di sicurezza e/o del progetto d’intervento, la struttura completamente realizzata.”**



In realtà le “*Costruzioni Esistenti*” rappresentano un ambito molto più ampio, che comprende tanto i beni monumentali, vecchi magari di qualche secolo, che le costruzioni più recenti, dove ciascuna opera può essere caratterizzata da peculiarità diverse ed è, a priori, unica per le modalità costruttive e le condizioni di esercizio.

Per cui nella valutazione della sicurezza di un manufatto in esercizio si devono giustamente evitare le procedure standardizzate e l’approccio sperimentale ad ogni opera dovrebbe essere mirato, specifico.

Per queste ragioni è condivisibile che, in genere, le norme non entrino con troppo dettaglio ed in maniera prescrittiva in argomenti come quelli rappresentati dalle “*Costruzioni Esistenti*”. Però l’impegno delle *NTC 2018* a “*stabilire i criteri generali*” avrebbe potuto essere meno generico, prevedendo

l'obbligo di definire, preliminarmente al progetto, le diverse condizioni di esercizio cui l'opera è andata soggetta, dall'epoca della costruzione fino ad oggi, oppure di quantificare, fra i documenti del progetto di intervento, la consistenza del quadro fessurativo, individuandone le cause (esercizio, antropico,...) piuttosto che la tipologia, la consistenza e la causa di innesco dei fenomeni di degrado (ambientale, antropico,...)





Le strutture di una *“Costruzione Esistente”* possono essere interessate da diversi fenomeni di degrado che, con maggiori o minori livelli di gravità, da soli o contemporaneamente, possono fare la differenza nella valutazione della sicurezza.

In questo contesto, il *“laboratorio”*, ma sarebbe più giusto dire la *“società di servizi”*, anche se l'uso del termine *“laboratorio”* è istituzionalmente consolidato dall'*art. 20 della L. n° 1086/1971* e dal più recente *art. 59 del D.P.R. n° 380/2001*, che opera nel campo della *“diagnostica strutturale”* lo fa in una condizione priva di regole, senza alcuna attenzione, da parte delle stazioni appaltanti, al fatto che da queste attività deriva la sicurezza di esercizio della gran parte dei nostri fabbricati e delle nostre infrastrutture.

Un settore, quello della *“diagnostica strutturale”*, che è di interesse prioritario per la pubblica incolumità e che è strategico per l'economia, per tutti il *viadotto Morandi* ma anche il crollo del *viadotto Imera*, sulla *A19*, che ha tagliato la Sicilia in due per oltre un anno.



Ecco perché le maggiori associazioni di categoria hanno ritenuto di riunirsi e di richiedere un intervento al MIT che regolamentasse il settore della *“diagnostica strutturale”*, scelta che ha trovato un primo ed importante riscontro nella *UNI Ente Italiano di Normazione* che, con la collaborazione della *associazione Master*, ha pubblicato, lo scorso 3 maggio il documento *UNI/PdR 56:2019 “Certificazione del personale tecnico addetto alle prove non distruttive nel campo della ingegneria civile”* che rappresenta il primo passo verso l'emissione di una norma che consenta di unificare, ed omogeneizzare, le diverse procedure attualmente disponibili sul mercato e di proprietà di ciascun singolo Organismo, privato, di Certificazione.

		
<p>Associazione Italiana Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica</p>	<p>Associazione Laboratori Geotecnici Italiani</p>	<p>Associazione Laboratori di Ingegneria e Geotecnica</p>
		
<p>Associazione Laboratori e Organismi di Certificazione e Ispezione</p>	<p>Associazione per il Controllo la Diagnostica e la Sicurezza delle Strutture Infrastrutture ed i Beni Culturali</p>	<p>Associazione Materials and Structures, Testing and Research</p>

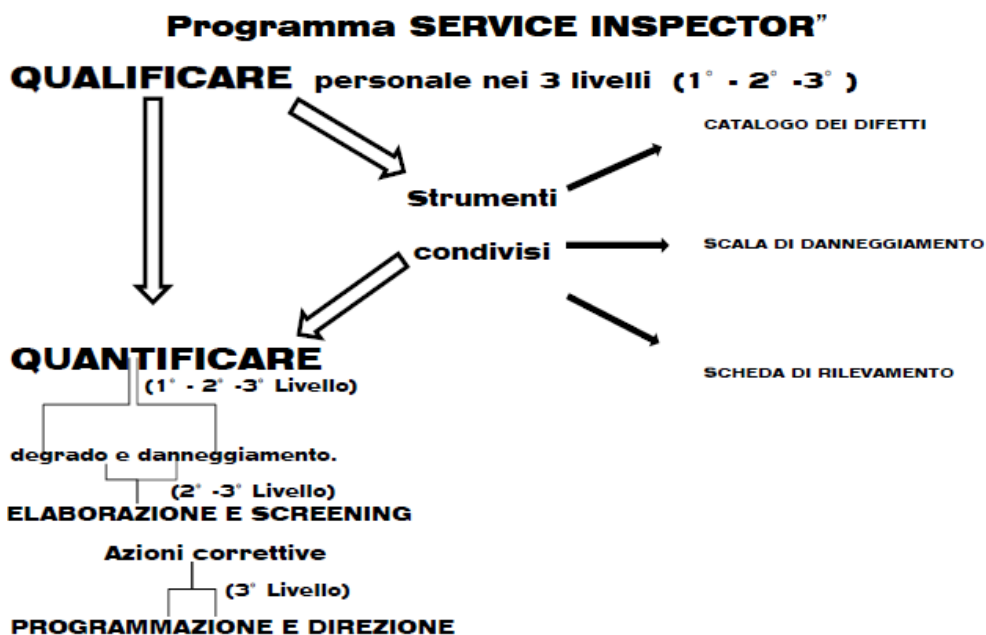
Con questa finalità, l'ALIG e l'IIS, hanno portato a termine un programma di formazione ampio e ben articolato che ha compreso tutti i settori, ed i relativi metodi di prova, interessanti per l'ingegneria civile, e riguardanti rispettivamente: *le opere in calcestruzzo, le opere in muratura, le fondazioni profonde.*

Per l'importanza che nella "diagnostica strutturale" deve avere la capacità di valutare, visivamente, i fenomeni e le caratteristiche del "costruito", nel percorso formativo previsto dal programma, ALIG-IIS, è stato attribuito all'ESAME VISIVO il requisito di pedunculosità a tutti gli altri metodi.

Un altro aspetto non trascurabile, e complementare al precedente, è rappresentato dalla formazione del personale di chi le opere le deve gestire ovvero dei proprietari e dei concessionari di infrastrutture, viarie e ferroviarie, ai quali compete la responsabilità di acquisire, mediante ispezioni periodiche sul campo, le necessarie informazioni sulle condizioni dell'opera, di elaborare ed archiviare i dati e quindi, in conseguenza dell'esito, di adottare le necessarie azioni correttive.

Nello specifico, fra le azioni correttive, oltre al progetto degli interventi manutentivi di recupero, si deve comprendere il preliminare, ed indispensabile, progetto dell'intervento diagnostico.

Per questa ragione, l'ALIG e l'IIS, consapevoli della importanza che ha la formazione sia nella esecuzione ed elaborazione dell'esito delle ispezioni che nella successiva capacità di progettare e gestire i risultati delle indagini diagnostiche stanno sviluppando un programma di formazione del personale denominato "SERVICE INSPECTOR" finalizzato nei diversi ruoli, e responsabilità, alla ispezione, nel senso più ampio, delle infrastrutture, viarie e ferroviarie, in acciaio, c.a. e c.a.p.



Il programma prevede di qualificare il personale in *3 livelli*, in maniera da consentire a ciascun tecnico, sia pure con diversa formazione e responsabilità, di operare sulla scorta di strumenti comuni, condivisi, come: *il catalogo dei difetti, la scala di danneggiamento, la scheda di rilevamento.*

### Catalogo Difetti

Il presente catalogo raccoglie in maniera sistematica le tipologie di difetti e di degrado riscontrati durante l'ispezione del Viadotto Federico II nel Comune di Augusta (SR). Il catalogo è stato redatto al fine di avere una chiara identificazione dei difetti utilizzati nella redazione dello schedario tecnico.

Il codice dei difetti indicato in ciascuna scheda si riferisce alla numerazione utilizzata nella compilazione delle schede difetti degli elementi strutturali.

Alla nomenclatura segue una breve descrizione del difetto con le indicazioni delle principali cause che lo possono determinare.



## SCALA DI DANNEGGIAMENTO

La presente scala di danneggiamento permette di attribuire a ciascun elemento strutturale indagato un livello di degrado. Si compone di due diversi parametri di controllo:

**La gravosità** del difetto definita con scala crescente da 1 a 5;

**L'estensione** del difetto all'interno dell'elemento indagato definita con A – B  
- C

**LA SCALA DI GRAVOSITÀ E' CRESCENTE DA 1 A 5.**

1/5: LIVELLO DI GRAVOSITÀ MINIMA;

2/5: LIVELLO DI GRAVOSITÀ LIMITATA;

3/5: LIVELLO DI GRAVOSITÀ MEDIA;

4/5: LIVELLO DI GRAVOSITÀ SIGNIFICATIVA;

5/5: LIVELLO DI GRAVOSITÀ MASSIMA.

### **L'Estensione del difetto crescente A-B-C**

- A: ESTENSIONE MINIMA O PUNTUALE;
- B: ESTENSIONE SU UNA SUPERFICIE  
SIGNIFICATIVA < 50%;
- C: ESTENSIONE SU UNA SUPERFICIE  
CONSISTENTE >50%.

CODICE DIFETTO	5
NOME DIFETTO	<b>Armatura lenta scoperta e/o spezzata</b>
DESCRIZIONE	L'armatura a vista, scoperta, indica l'assenza o l'espulsione del calcestruzzo di ricoprimento, o copriferro, e per questa ragione viene annoverata fra i difetti del calcestruzzo. La mancanza di ricoprimento può derivare da errori di esecuzione (vespai o assenza di copriferro) oppure può essere causata dal degrado del calcestruzzo (distacco o dilavamento). Il caso di calcestruzzi, non durabili, in ambienti aggressivi, soggetti a carbonatazione, a penetrazione di cloruri,.. è la corrosione dell'armatura, ed il relativo aumento di volume, in generale la principale causa di degrado. Il fenomeno si manifesta prima con la comparsa di lesioni millimetriche e procede fino al distacco del copriferro.



SCHEDA ANAGRAFICA - ESAME VISIVO		IMPALCATO												
		<b>I</b>												
<b>A</b>	<table border="1"> <tr> <td>1 - FIFAMENTI STRUTTURALI</td> <td>1</td> <td>TRAVE</td> <td>1</td> <td>SPALLA</td> <td>1</td> <td>PILA</td> <td>1</td> <td>TRASVERSI</td> <td>1</td> <td>SOLETTA</td> </tr> </table>	1 - FIFAMENTI STRUTTURALI	1	TRAVE	1	SPALLA	1	PILA	1	TRASVERSI	1	SOLETTA		
1 - FIFAMENTI STRUTTURALI	1	TRAVE	1	SPALLA	1	PILA	1	TRASVERSI	1	SOLETTA				
<b>DATI GENERALI</b>	<p>Viadotto costituito da 19 impalcati numerati da 1 a 19 nella direzione da Augusta verso Siracusa. L'impalcato è costituito da due travi a cassone con schema statico a trave continua. Le pile hanno altezza variabile e sezione piena dello spessore di 180 cm.</p> <p>Ogni impalcato ha una luce netta di 35 m con il piano viabile costituito da una soletta in c.a. e dello spessore di 25 cm circa.</p>													
<b>B</b>	<p><b>SCHEMI UBICAZIONE</b></p> <p>PLANIMETRICA</p> <p><b>SEZIONE</b></p>													
<b>C</b>	<p><b>TIPOLOGIA DEL DEGRADO</b></p>		<p><b>LIVELLO DEGRADO</b></p>											
<b>ESAME VISIVO</b>			1	2	3	4	5							
	MACCHIE DI UMIDITA'			X										
	FESSURE EVIDENTI NEL CLS SENZA ARMATURA SCOPERTA				X									
	BARRI LONGITUDINALI SCOPERTE				X									
	BARRI LONGITUDINALI OSSIDATE				X									
	PRESENZA DI BARRI ROTTE													
	SONO SCOPERTE LE BARRI DELL'ANIMA TRAVE													
	LE STAFFE SONO EVIDENTI (SI NOTA LA SAGOMA), MA NON SONO SCOPERTE													
	LE STAFFE SONO SCOPERTE				X									
	PRESENZA DI VESPAI													
	LESIONI													
	DEFLAMINAZIONI		X											
	SEGREGAZIONI		X											
<b>NOTE</b>														

Disporre di questi strumenti e di una procedura, convenzionale, ben definita permette di valutare, qualitativamente ma in maniera oggettiva, l'efficienza, il degrado ed il danneggiamento in esercizio delle opere d'arte.



Il programma *ALIG-IIS* mediante il percorso formativo, descritto sinteticamente più avanti, intende rispondere a questa esigenza. A seguire gli aspetti più significativi del progetto.

Il 1° **Livello o BASIC (B)** deve essere in grado di avere: *capacità di registrare correttamente i parametri significativi per l'effettuazione dell'ispezione e capacità di compilare la scheda di ispezione con riferimento a documenti specifici, prodotti dall'Ente, concessionario o proprietario, come il catalogo dei difetti, la scala di danneggiamento, le tavole sinottiche delle tipologie di ponti e delle caratteristiche dei materiali.*

Il 2° **Livello o STANDARD (S)** deve poter svolgere le funzioni del *BASIC*, *oltre che disporre della capacità di comprendere se i parametri registrati nella scheda siano accettabili o no. L'accettabilità dei dati raccolti può essere effettuata con riferimento ad una eventuale soglia di allarme, elaborata in precedenza o valutando qualitativamente l'evoluzione del fenomeno. Deve implementare i dati raccolti in un data base, rilevando ed evidenziando le criticità.*

Il 3° **Livello o COMPREHENSIVE(C)**: deve poter assolvere alle funzioni del *BASIC* e dello *STANDARD*, *oltre ad avere la specifica competenza nell'interpretare ed elaborare le informazioni che gli vengono trasferite con le schede, e con il data base; deve implementare l'elaborazione in una relazione di ispezione, nella quale deve programmare gli eventuali interventi integrativi di indagine e progettare il programma operativo: piano di indagine e tipologia dei controlli da realizzare; se necessario, a tutela della sicurezza di uso e della pubblica incolumità, deve saper adottare tempestivamente le necessarie azioni correttive.*

**Esempio:** con riferimento alla *scheda anagrafica – Esame visivo*, che è stata richiamata, le informazioni che possono essere ricavate, limitandoci all'esame del *difetto* rilevato, sono:

*difetto n° 5: Armatura lenta scoperta e/o spezzata*, con espulsione localizzata del copriferro ed ossidazione, senza rottura, delle barre; con un *livello di danneggiamento*, pari a: *medio (3/5;)* ed *Estensione* definita come: *significativa (B)*.

Le suddette informazioni sono state rilevate, ed annotate, nelle schede di rilevamento dall'“*Ispettore*” di livello *BASIC*;

sono state acquisite e, con l'evidenza della criticità, sono state inoltrate dall'“*Ispettore*” di livello *STANDARD* all'“*Ispettore*” di livello *COMPREHENSIVE*;

l'“*Ispettore*” di livello *COMPREHENSIVE*, dopo averle valutate, è nella condizione di definire la causa del degrado delle barre e del calcestruzzo, individuando il fenomeno come: *corrosione da cloruri, per ambiente marino, amplificata dalla probabile carbonatazione del calcestruzzo.*

Avendo come obiettivo quello di prevedere il ripristino della/e pile e dovendo procedere, per il corretto ripristino strutturale, alla rimozione del calcestruzzo inquinato da cloruri e carbonatato, l'“*Ispettore*” di livello *COMPREHENSIVE* deve progettare l'indagine, descrivendo per ciascun prelievo e/o prova la numerosità e l'ubicazione integrate delle specifiche tecniche operative e dei criteri interpretativi, prevedendo almeno le seguenti attività:

*Mappatura dell'armatura e prelievo di barre. Prelievo di carote di calcestruzzo per la determinazione delle caratteristiche meccaniche, del profilo di penetrazione degli ioni  $Cl^-$  e della carbonatazione (grado pH,) eventualmente integrate, nelle parti integre delle strutture, dalla mappatura del potenziale e dalla determinazione della velocità di corrosione .*



- *Prelievo di calcestruzzo, mediante carotaggio.*



- *Mappatura di barre e del potenziale (Half-cell) e della velocità di corrosione (GECOR).*



- *Prelievo di barre d'armatura.*

*Concludendo, la normativa dovrebbe esplicitamente prevedere, per le “Nuove Costruzioni”: la presenza fra i documenti di progetto, p.e. nella “Relazione specialistica sui risultati sperimentali...”, del progetto del sistema di monitoraggio riferito a specifiche grandezze e che, il sistema di monitoraggio, venga realizzato e collaudato contestualmente alle opere;*

*per le “Costruzioni Esistenti” che il progetto del sistema di monitoraggio venga sempre riferito alla specifica opera, tenendo conto del modello strutturale e delle peculiari condizioni di esercizio, attuali e pregresse, della consistenza del danneggiamento, del degrado e del quadro fessurativo, e delle caratteristiche, fisiche, chimiche e meccaniche dei materiali.*

*In particolare per stimare la consistenza del danneggiamento e per determinare le caratteristiche dei materiali non si può, e non si deve, prescindere dalla specifica qualificazione del laboratorio che certifica i risultati sperimentali e dalla formazione, certificata, del personale, responsabile della esecuzione e del coordinamento delle indagini strutturali e del monitoraggio.*

*Per le stesse ragioni ci pare opportuno che, in maniera assolutamente complementare, il requisito della formazione specifica debba riguardare anche chi, i sistemi di monitoraggio e le indagini strutturali, li progetta e li dirige durante l'esecuzione e ne collauda la corretta esecuzione e/o funzionamento durante l'esercizio.*



*È sicuramente auspicabile una maggiore diffusione dei sistemi di monitoraggio a patto che siano integrati dalle indagini strutturali e dalla corretta definizione del modello di calcolo e con la consapevolezza che questi obiettivi possono essere garantiti solo da strutture qualificate, nelle specifiche attività, dotate di personale adeguatamente formato, addestrato e certificato nella esecuzione delle prove e nella installazione della strumentazione.*

*Torino, 11 giugno 2019*

*dott. ing. Vincenzo D. VENTURI*