

Efficacia delle Prove Non Distruttive per l'Analisi di Ponti in C.A.: Sperimentazione in Sito Presso il Ponte di Stazzona (So)

Dario Foppoli¹, Gianluca Del Bianco², Roberto Felicetti³

1 Foppoli Moretta e Associati srl, Tirano (SO) – Italy

3 ITALSABI srl Sandrigo (VI)

2 Politecnico di Milano

Abstract

Nel mese di novembre 2018 AIPnD ha organizzato, in collaborazione con alcuni degli enti e delle società che ad essa aderiscono, un'attività di sperimentazione in sito finalizzata all' "Analisi dell'efficacia delle tecniche non distruttive di prova su ponti in c.a.". Si è operato su un ponte costruito all'inizio del XX sec. e più volte modificato, a cui sono state applicate tecniche di Prova Non Distruttive allo scopo di valutare il campo di applicazione delle stesse ed esemplificare i risultati che possono essere raggiunti.

E' stata effettuata preliminarmente un'ispezione con drone al fine di mettere in evidenza l'efficacia e l'utilità di una tale analisi. Successivamente sono stati effettuati test per valutare i risultati forniti da specifiche tipologie di prova: UT, Radar e Pulse-Echo. Le indagini sono state effettuate da operatori certificati secondo il sistema di certificazione vigente per tecnici impiegati nell'esecuzione di PND. In questo modo è stato possibile caratterizzare per via preliminare il ponte, mettendo in evidenza significativi indizi strutturali che sono stati approfonditi anche reperendo ulteriori informazioni relative alle fasi costruttive del manufatto.

Le PND hanno inoltre fornito le informazioni essenziali per indirizzare l'approfondimento diagnostico finalizzato ad ottenere la definizione puntuale dello stato di degrado e la determinazione delle caratteristiche meccaniche dei materiali che è stato poi effettuato mediante prove magnetometriche, prove di carbonatazione, prove UT, prove di pull out, indagini videoendoscopiche ed infine limitati prelievi e prove di compressione del cls e di trazione sull'acciaio. Nel complesso l'indagine effettuata ha consentito di pervenire al massimo livello di conoscenza utile per la successiva valutazione della vulnerabilità sia statica che sismica del manufatto.

Risulta ulteriormente significativo il fatto che queste attività siano state in parte svolte e divulgate nell'ambito di un seminario di formazione dal titolo "Efficacia delle tecniche non distruttive di prova per la valutazione della sicurezza dei ponti", organizzato da AIPnD in collaborazione con UNCEM e l'ordine degli ingegneri di Sondrio contestualmente all'esecuzione delle suddette prove. Tale seminario ha contribuito a diffondere la conoscenza delle PND quali patrimonio della comunità tecnica (e non solo nell'ambito scientifico) ed a promuovere il loro efficace utilizzo nella valutazione del livello di sicurezza delle strutture esistenti che, in Italia, risulta attualmente un problema rilevante sia nel settore della sicurezza dei ponti e dei viadotti che nel settore della vulnerabilità sismica degli edifici esistenti.

Keywords

Ponti, NDT, ispezioni, drone, tomografia UT , Radar, Pulse-Echo

1 Introduzione

Il crollo del viadotto Polcevera a Genova costituisce l'ultimo ed il più tragico di una serie di crolli hanno messo in luce l'estrema fragilità della rete infrastrutturale Italiana evidenziando nel contempo l'assoluta necessità di applicare appropriate tecniche che consentano di rilevare lo stato di conservazione delle strutture, in modo da pervenire alla conseguente valutazione della vulnerabilità strutturale.

L'associazione AIPnD ha sentito la necessità di attivarsi immediatamente, in coerenza con il suo scopo statutario di “promuovere la conoscenza scientifica e tecnica e lo sviluppo tecnologico delle prove non Distruttive attraverso l'informazione e l'educazione”, sviluppando articolate attività nei settori di propria competenza. Nel mese di novembre 2018 ha quindi organizzato, in collaborazione con alcuni degli enti e delle società che ad essa aderiscono, un'attività di sperimentazione in sito finalizzata all' “Analisi dell'efficacia delle tecniche non distruttive di prova su ponti in c.a.”, con l'obiettivo di confrontare in campo differenti tecniche operative applicate ad uno specifico caso studio.

A questo scopo è stato individuato un ponte sul fiume Adda in località Stazzona in provincia di Sondrio (Fig. 1), particolarmente idoneo all'applicazione di un'attività di sperimentazione in quanto realizzato in due fasi strutturalmente ben individuabili: al 1913 risale la costruzione originaria ed al 1936 un intervento di rinforzo effettuato da AEM Milano per consentire il passaggio dei carichi eccezionali previsti per la costruzione della vicina centrale idroelettrica di Stazzona. Sono stati quindi individuati alcuni tratti delle travi di sostegno dell'impalcato che sono stati oggetto di prove effettuate allo scopo di comparare l'efficacia delle differenti tecniche di indagine applicabili.



Fig. 1 – Il ponte di Stazzona visto da valle

Le analisi sono state effettuate in modo indipendente da differenti operatori e con differenti tecniche (VT, UT, GPR e Pulse-echo); i risultati sono poi stati confrontati in merito all'applicabilità delle specifiche tecniche di prova ad all'efficacia dei loro esiti.

Contestualmente AIPnD ha organizzato attività di informazione e di educazione, promuovendo un seminario dal titolo “Efficacia delle tecniche non distruttive di prova per la valutazione della sicurezza dei ponti” congiuntamente ad UNCEM (Unione nazionale

dei Comuni, delle Comunità e degli Enti montani) ed all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Sondrio,

2 Descrizione del manufatto

Il ponte di Stazzona in comune di Villa di Tirano (SO), costituisce attraversamento del fiume Adda sulla Strada Provinciale n.25. Ha una lunghezza complessiva di 40 m e presenta uno schema statico a travata continua a tre campate senza giunti strutturali sulle spalle.

L'impalcato è composto da sette travi realizzate in due epoche differenti, le quattro dispari realizzate in prima fase e le tre pari realizzate in seconda fase (Fig. 2), che risultano solidarizzate da una soletta collaborante in calcestruzzo armato di spessore 20 cm. La struttura portante verticale è costituita dalle due spalle laterali e da due pile centrali, a sezione rettangolare in calcestruzzo rivestito in pietrame e provviste di rostri frangiflutti in granito, di altezza variabile tra i 6,0 m e 6,60 m dal fondo alveo e spessore di 0,95 e 1,05 m rispettivamente. Sulle fiancate di monte e di valle del ponte sono stati in tempi recenti ancorati diversi allestimenti impiantistici (rete fognaria, telecomunicazione, distribuzione elettrica locale, linea in cavo in alta tensione).



Fig. 2 – pila sinistra con intradosso di impalcato e numerazione delle travi

La ricerca di archivio effettuata presso l'Ufficio Tecnico del comune ha consentito di determinare che la costruzione dell'assetto originale del ponte, costituito da pile, spalle, ed impalcato sostenuto da 4 travi in cemento armato, risale al 1913. Sono stati rinvenuti in archivio documenti contabili datati 1914 che, per quanto riguarda la strutture originali del ponte, evidenziano la ottima corrispondenza geometrica con lo stato attuale.

Nella seconda metà degli anni trenta del secolo scorso il ponte ha subito un importante intervento di rinforzo finalizzato ad aumentarne la capacità portante per consentire il passaggio di carichi eccezionali come i trasformatori destinati alla stazione elettrica di Stazzona che AEM Milano stava costruendo in quegli anni e che sarebbe poi entrata in esercizio nel 1936. L'intervento di consolidamento è consistito nell'interposizione tra le 4 travi già esistenti di ulteriori 3 nuove travi.

E' stato possibile reperire presso gli archivi di a2a SpA due tavole datate 1936 dalle quali risulta evidente la particolare conformazione del traliccio di armatura previsto per le nuove travi (Fig. 3).

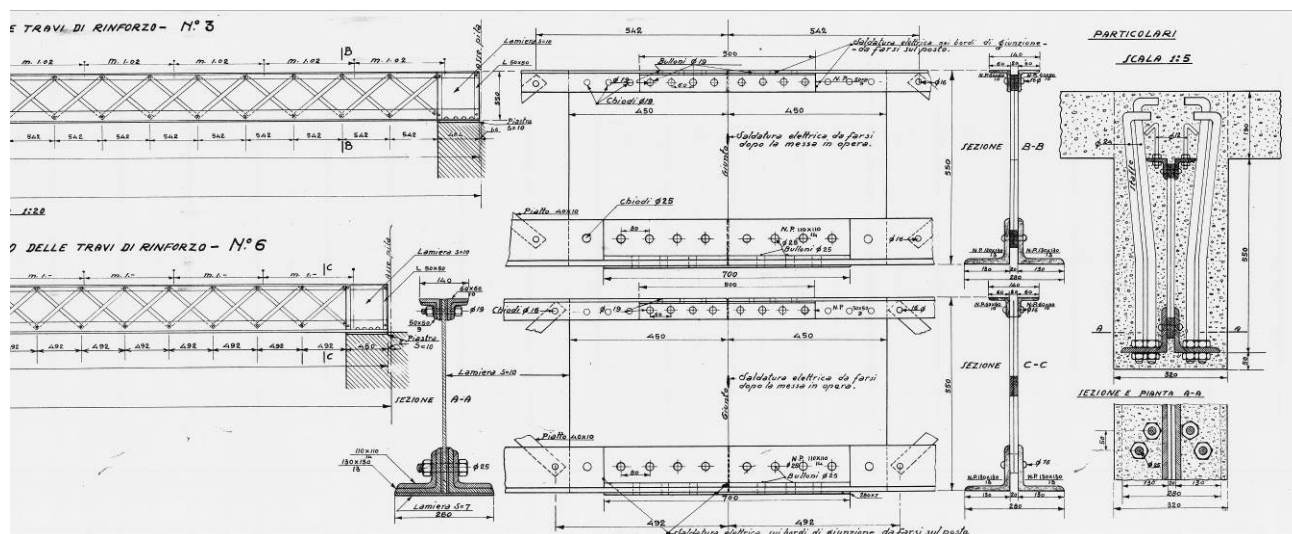


Fig. 3 – Armatura in ferro dei rinforzi per transito carichi pesanti

3 Campagna sperimentale

La campagna diagnostica sperimentale è stata articolata applicando i seguenti metodi:

- VT Ispezione Visiva tramite Sistema a Pilotaggio Remoto (SAPR)
- UT Prove ultrasoniche elaborate con metodi tomografici
- UT-pe Tomografie ultrasoniche a eco di impulsi
- GR Indagine con Georadar

E' stato individuato un tratto di trave lungo l'allineamento 5 (di prima fase) e 6 (di seconda fase) che è stato analizzato con le differenti metodologie di prova secondo le modalità tecniche che ognuno dei soggetti operatori ha proposto ritenendole più opportune. Si osserva che le informazioni grafiche desunte dalla ricerca documentaria descrtat al punto precedente non sono state rese disponibili agli operatori in fase di diagnostica, ma sono state utilizzate solamente nella fase di analisi e di confronto al fine di verificare l'attendibilità delle risultanze delle prove diagnostiche effettuate. Le indagini sono state effettuate utilizzando un'attrezzatura by-bridge.

Hanno operato tecnici in possesso di certificazioni rilasciate da Organismo di Certificazione accreditato da ACCREDIA dotato di schema disciplinante la "Qualificazione e certificazione del personale tecnico addetto alle prove non distruttive nel campo dell'ingegneria civile" accreditato da ACCREDIA, con riferimento alla UNI EN ISO 9712:2012.

Per brevità espositiva nel seguito viene omessa la descrizione delle tecniche di prova e vengono presentati in modo sintetico i risultati ottenuti, valutando in particolare l'efficacia delle attività effettuate.

4 Ispezione Visiva Tramite Sistema a Pilotaggio Remoto (SAPR)

L'ispezione visuale (VT) ha consentito di rilevare, nel quadro generale, un cattivo stato manutentivo e di conservazione. I maggiori fenomeni di degrado osservati sono di esfoliazione degli strati superficiali dell'intonaco nelle spalle del ponte e di espulsioni del ferro delle armature sulle travi dell'impalcato dovuti a percolazioni e alla elevata umidità.

Da non trascurare, le espulsioni dei ferri dell'armatura per i quali si consiglia di procedere quanto prima al ripristino della sezione. Nel lungo termine invece, si consiglia di intervenire su quelle strutture che aggravano lo stato di salute del ponte: le tubazioni ad alta tensione sul lato a valle e la passerella sul lato a monte che paiono la causa di percolazioni che nel lungo periodo portano a distacchi di materiale.

5 Prove ultrasoniche elaborate con metodi tomografici

In corrispondenza delle sezioni trasversali delle travi di prima fase sono state realizzate tre tomografie ultrasoniche verticali (UT), una per ognuna delle tre campate, al fine valutare l'omogeneità del calcestruzzo utilizzato. Dalle sezioni tomografiche si osservano velocità risultino più basse nella parte corticale della trave: tale distribuzione delle velocità, che evidenzia la minore densità del calcestruzzo corticale rispetto al nucleo, potrebbe essere correlata alle tecnologie costruttive dell'epoca (inizio XX sec.), per esempio ad una scarsa attenzione alla vibrazione del getto o alle condizioni ambientali durante la fase di maturazione dello stesso. La distribuzione delle velocità è comunque risultata compresa in un range tra 3600 m/s e 4800 m/s, consentendo di classificare il calcestruzzo come "buono" in relazione ai parametri usualmente accettati.

In corrispondenza della trave di seconda fase n.2 sono state inoltre realizzate due tomografie ultrasoniche rispettivamente ubicate lungo una sezione verticale trasversale all'asse e lungo una sezione orizzontale approssivamente mediana alla trave. I risultati forniti dalle due sezioni tomografiche risultano tra loro omogenei. Dalle sezioni tomografiche (Fig. 3) si osserva come le velocità siano più elevate nella parte inferiore della trave rispetto alla parte superiore: tale effetto può essere messo in relazione in questo caso alla presenza all'interno della zona tesa del calcestruzzo di elementi metallici di cui tuttavia con la metodologia applicata non è risultato possibile determinare la geometria. La distribuzione delle velocità risulta contenuta in un range compreso tra 4500 m/s e 5300 m/s, classificando il calcestruzzo da "buono" ad "ottimo".

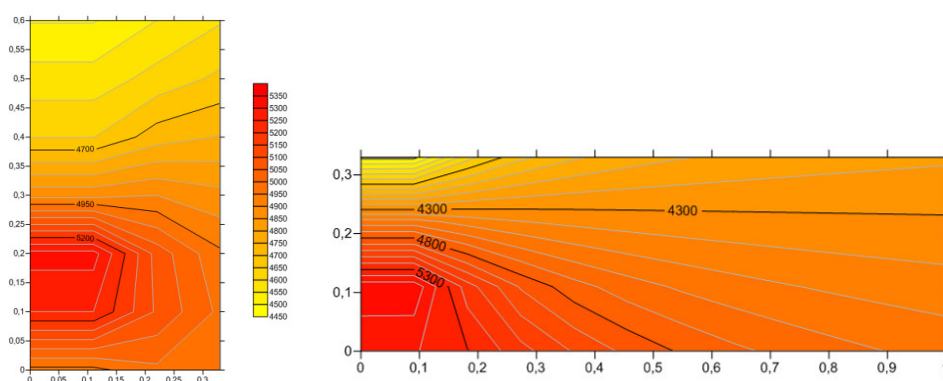


Fig. 4 – Tomografie delle travi integrative T4 (verticale) – T5 (orizzontale)

6 Tomografie soniche ad eco-impulsi e analisi georadar

Analizzando i risultati combinati delle tomografie soniche ad eco-impulsi (UT-pe) e delle analisi georadar (GR) è stato possibile ipotizzare alcune supposizioni congruenti in merito al sistema di rinforzo delle travi assunto quale più probabile sulla base delle indagini effettuate. E' stato possibile ipotizzare che nella trave in calcestruzzo sia presente una coppia di profili in acciaio a L o a C, dei quali si ha evidenza della piattabanda inferiore e dell'anima verticale, sebbene quest'ultimo elemento appaia in alcune scansioni come

elemento non continuo. Non è possibile discriminare se si tratti di profili a L o a C in quanto l'eventuale piattabanda superiore risulta in aderenza alla soletta superiore e quindi non investigabile a causa dello stesso ingombro degli strumenti utilizzati.. La piattabanda inferiore sembra essere connessa alla soletta superiore del calcestruzzo tramite una coppia di tiranti per lato, disposti ad un interasse di circa 100 cm.

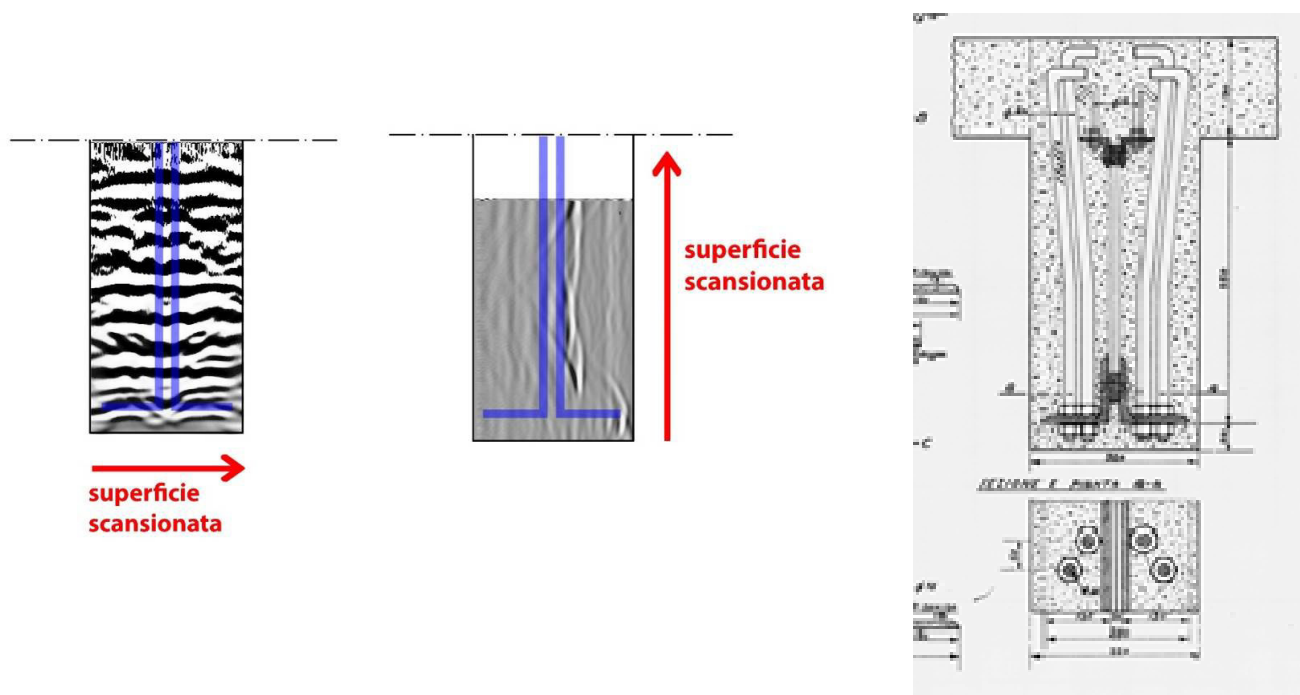


Fig. 5 – Sezione verticale trasversale – ipotesi ricostruttive e disegno di progetto

Nelle Fig. 4 e 5 questi risultati (ottenuti lo ricordiamo senza che gli operatori fossero a conoscenza dei dati documentali acquisiti) vengono confrontati con i disegni di progetto datati 1936 e forniti da a2a SpA, evidenziandone la buona corrispondenza.

7 Considerazioni conclusive in merito alla sperimentazione effettuata

L'attività sperimentale in sito svolta sul ponte sull'Adda di Stazzona, finalizzata all'analisi dell'efficacia delle tecniche non distruttive di prova, ha messo in evidenza l'utilità preliminare dell'Ispezione Visiva (VT) Tramite Sistema a Pilotaggio Remoto che ha permesso di eseguire una prima valutazione del degrado della struttura ed una reportazione mediante schedatura dello stesso. La tecnica di ispezione presenta ovviamente la massima efficacia se viene ripetuta periodicamente in modo da consentire valutare la velocità di progressione degli ammaloramenti osservati.

Le prove ultrasoniche (UT) sono state elaborate con metodi tomografici ed hanno consentito di valutare l'omogeneità delle travi nella loro sezione longitudinale e trasversale, discriminando le caratteristiche dei materiali delle travi integrative rispetto alle travi originali (velocità mediamente inferiori e differente distribuzione in sezione). Non hanno invece consentito di individuare la presenza delle armature, anche a causa del passo piuttosto largo (peraltro standard) con cui sono state effettuate le letture.

Le armature sono state invece individuate tramite tomografie soniche ad eco-impulsi (UT-pe) associate alle analisi georadar (GR). I risultati da esse desunte sono stati confrontati con i disegni originali di progetto che è stato possibile reperire ed hanno consentito di osservare una buona corrispondenza con gli stessi; non è stato tuttavia possibile pervenire

ad un'individuazione di dettaglio delle armature per quanto riguarda numero, diametro e stato di degrado, elementi che risultano comunque determinanti per effettuare la valutazione della vulnerabilità statica e sismica della struttura.

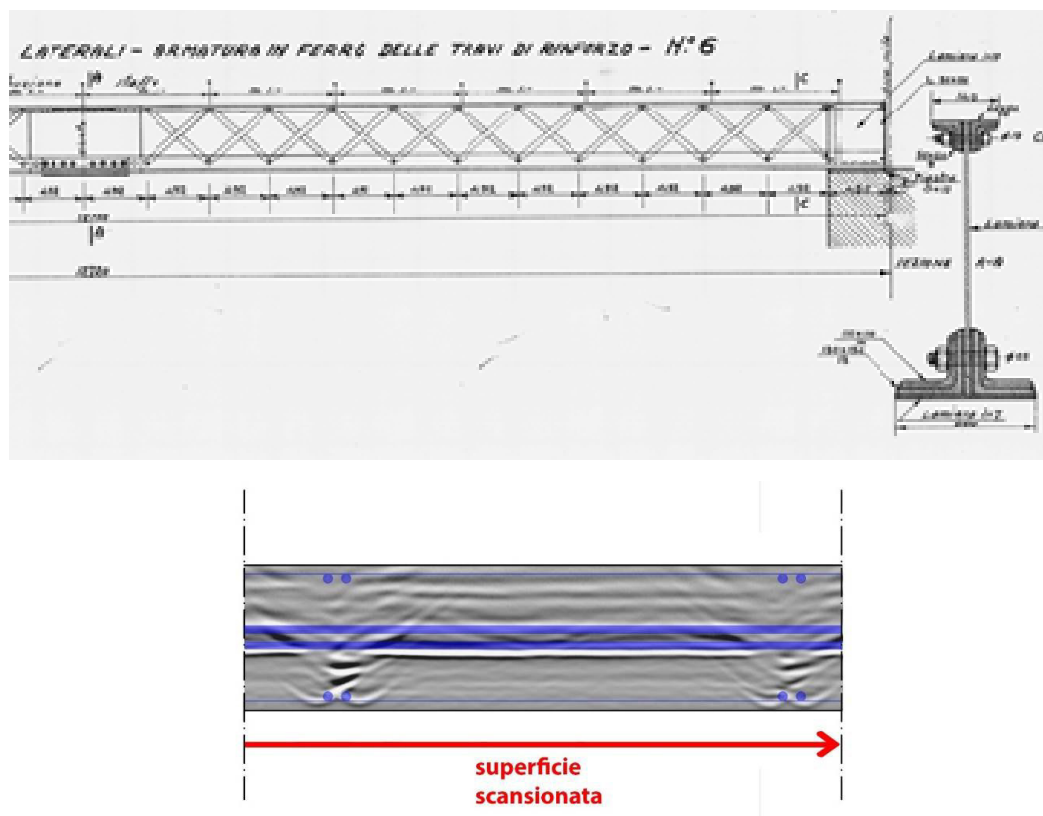


Fig. 6 – Sezione long. verticale di progetto ed orizzontale ipotesi ricostruttiva

A posteriori è stato possibile valutare che una possibilità interessante per ottenere una migliore risoluzione ed al limite riconoscere la tessitura del traliccio d'anima avrebbe potuto essere la realizzazione di tomografie 3D dell'anima delle travi di rinforzo, sia con il tomografo sia con il radar.

Per quanto riguarda infine le indagini radiografiche (RT), che potenzialmente avrebbero potuto fornire informazioni più dettagliate sulla presenza di armature, le valutazioni di fattibilità preliminarmente effettuate nel corso della presente ricerca hanno messo in evidenza come la loro esecuzione comporti rilevanti difficoltà connesse alla gestione della sicurezza che ne sconsigliano l'utilizzo in sito. Appare utile sottolineare come il caso trattato ha evidenziato che risulta preliminarmente essenziale l'accurata ricostruzione delle fasi costruttive, che consegue principalmente alla ricerca ed al reperimento di informazioni documentarie legate alla costruzione ed alle modifiche della struttura analizzata; esse sole possono fornire una appropriata base di partenza necessaria ad ottenere una adeguata risoluzione delle attività diagnostiche di controllo e di verifica in sito.

Le indagini effettuate nell'ambito della presenta campagna sono state non distruttive e di tipo estensivo, ovvero applicabili ad ampie superfici consentendo di ottenere indicazioni qualitative generali sullo stato di conservazione del manufatto. Per effettuare la valutazione della vulnerabilità strutturale risulta tuttavia necessario anche acquisire i parametri geometrici e meccanici di dettaglio per i quali è indispensabile procedere all'ulteriore approfondimento della campagna diagnostica con l'esecuzione di prove in parte leggermente distruttive di natura intensiva e puntuale.

8 Attività di informazione e di educazione

Gli esiti preliminari delle prove realizzate sono stati presentati nel corso di un seminario dal titolo “Efficacia delle tecniche non distruttive di prova per la valutazione della sicurezza dei ponti” che ha riscosso un notevole successo come attestato dalla partecipazione di oltre novanta tecnici, la metà dei quali provenienti da varie parti di Italia (nonostante la sede in un territorio montano non proprio agevolmente raggiungibile).

L’iniziativa ha avuto un duplice scopo: da un lato di promuovere la conoscenza relativa allo sviluppo tecnologico delle Prove non Distruttive, informando e sensibilizzando gli addetti ai lavori rispetto all’importanza della loro effettiva applicabilità; dall’altro di definire un accordo operativo di collaborazione per migliorare le condizioni di sicurezza dei ponti a livello nazionale. All’incontro erano infatti presenti i presidenti nazionali di AIPnD e di UNCEM i quali nell’occasione hanno sottoscritto una convenzione in cui i due enti si sono impegnati a collaborare al fine di svolgere attività di consulenza, di formazione e di comunicazione in merito alla sicurezza delle infrastrutture.



Fig. 7 – La sottoscrizione della convenzione tra AIPnD ed Uncem

La peculiarità dell’incontro è risultata nella volontà di affiancare la tradizionale formazione frontale in aula (al mattino) ad una sessione pratica che si è svolta nel pomeriggio presso il ponte oggetto delle indagini descritte ai paragrafi precedenti: i partecipanti hanno così potuto assistere direttamente sia alla spiegazione pratica che all’esecuzione di alcune attività di indagine non distruttiva selezionate tra quelle più efficaci nello specifico contesto.

In definitiva, nell’ambito della giornata di studio, è emerso chiaramente come siano effettivamente disponibili tecniche opportune e sperimentate per valutare lo stato di conservazione delle strutture e delle infrastrutture. Ciò che manca attualmente, a livello nazionale, è la “cultura della manutenzione”, ovvero la sensibilità (che all’estero è in molti contesti un obbligo normativo) di prevedere opportune campagne di ispezione, di analisi e di manutenzione che consentano di garantire nel tempo l’efficienza anche strutturale delle infrastrutture e del nostro patrimonio immobiliare.

Incontri come quello di Tirano, efficaci sia dal punto di vista tecnico che dal punti di vista divulgativo, sono sicuramente passi importanti per lo sviluppo di una maggiore consapevolezza nel settore delle prove Non Distruttive. Estendere l’applicazione di

operazioni di diagnosi, di ispezione e di manutenzione delle infrastrutture (ed in generale delle strutture esistenti) costituisce non solamente una buona pratica tecnica ma anche, come drammaticamente dimostrato dai fatti di Genova, un sicuro obbligo morale per evitare tragedie che non possono né debbono essere catalogate come “imprevedibili”.

Ringraziamenti

Le attività in sito sono state realizzate per conto di AIPnD Associazione Italiana Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica a titolo gratuito dai seguenti soggetti, aderenti all'associazione, che si ringrazia per la collaborazione:

- ITALSABI s.r.l., Sandrigo (VI);
- Politecnico di Milano, Laboratorio Interdipartimentale per la Diagnostica ed il Monitoraggio Strutturale;
- Studio di Ingegneria ArCa, Tirano (SO);
- Foppoli Moretta e Associati Società di Ingegneria s.r.l., Tirano (SO).

Si ringrazia inoltre l'Amministrazione Provinciale di Sondrio, Settore Viabilità, edilizia scolastica e patrimonio, che ha messo a disposizione il ponte per le attività sperimentali ed ha gestito la complicata attività di chiusura temporanea della strada provinciale.

Si ringraziano infine, per la collaborazione all'organizzazione del seminario, l'UNCCEM (Unione nazionale dei Comuni, delle Comunità e degli Enti montani) e l'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Sondrio.

Bibliografia

UNI 11182:2006 Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni

UNI EN 12504-4:2005 Prova sul calcestruzzo nelle strutture - Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici

Foppoli D., From Palladio to Reinforced Concrete – NDT applied to the old and new Bridge of Bassano del Grappa, atti dell'International Symposium on Non-Destructive Testing in Civile Engineering (NDT-CE 2015), Berlino, 2015