

Ponte S.Michele sull'Adda



ITS INSPECTION DEPARTMENT
INSTANT BOOK PUBLICATION

it's the idea
it's the team
it's the solution



Inspection Department	3
Ponte S. Michele sull'Adda	4
FASE 1 - Raccolta della documentazione disponibile	6
FASE 2 - Elaborazione del modello FEM preliminare	8
FASE 3 - Redazione di un piano operativo delle attività di rilievo e indagine	9
FASE 4 - Campagna di indagine puntuale	10
FASE 5 - Caratterizzazione meccanica dei materiali	12
FASE 6 - Caratterizzazione geologica e geotecnica del sito	14
FASE 7 - Modello FEM di dettaglio	16
FASE 8 - Definizione dei livelli di vulnerabilità e sicurezza	18
Conclusioni	20
ITS Engineering Company	22



Prelievo di carote
Ponte Cadore - SS.51 Altemagna

ITS Inspection Department

La programmazione degli interventi di manutenzione sulle opere strategiche e rilevanti, risponde ai principi di **sicurezza**, di **continuità d'esercizio** e **programmabilità della spesa**. L'intervento manutentivo rappresenta in quest'ottica il punto d'arrivo di un processo che prende avvio dall'ispezione per arrivare al progetto. Fondamentale per il buon esito dell'intervento è, quindi, l'ispezione, condotta in modo diretto da personale competente e specializzato.

ITS Inspection è un dipartimento specialistico di **ITS engineering company** che si propone per l'**ispezione di grandi opere** di ingegneria civile e per la **gestione delle successive fasi**: mappatura del degrado, diagnosi, progetto e monitoraggio, qualora necessarie.

Il punto di forza di **ITS Inspection** è il *team*, composto da ingegneri civili strutturisti **abilitati ai lavori su fune** ai sensi del D.Lgs 81/2008 in grado di raggiungere tutte quelle parti dell'opera poste in luoghi impervi e di difficile accesso, mediante l'uso di tecniche alpinistiche e mezzi speciali (by bridge, elicottero, drone, piattaforme rampanti). Inoltre gli operatori sono qualificati per lo svolgimento di **controlli CND visivo-magnetoscopico**, in conformità alla norma UNI EN ISO 9712:2012, per prove in pre-servizio ed in servizio di attrezzature, impianti, strutture, oltre che per funi metalliche impiegate per il sollevamento, trasporto di persone-cose e tensostrutture.

Lo svolgimento del servizio, vista la complessità ed unicità delle opere, avviene utilizzando l'innovativo **metodo RTA**: reserch-training-action.

RESEARCH. Il team di ingegneri si prepara preliminarmente alle attività sul campo, attraverso opportune ricerche tecniche specialistiche.

TRAINING. Successivamente la squadra viene formata ed informata dall'ente proprietario/gestore delle esigenze di servizio.

ACTION. Infine si procede allo svolgimento delle attività sul campo con conoscenza completa e capacità critica globale.

Tra i molteplici enti e società per i quali **ITS Inspection** svolge consulenze ed ispezioni spiccano la Direzione del Compartimento ANAS spa di Venezia, Milano Serravalle-Milano Tangenziali spa, il Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane e la provincia di Treviso.

I principali servizi svolti sono stati presentati in occasione dei seguenti incontri e giornate:

- IABMAS_Padova2014 Ispezione, Manutenzione, Sicurezza e Gestione dei Ponti;
- Congresso Nazionale dell'Ordine dei Geologi_Ancona 2014;
- Midas Model Competition Italia 2012;
- Midas Model Competition Italia 2015.

Ponte S. Michele sull'Adda

La società RFI S.p.A. – Gruppo Ferrovie dello Stato - ha affidato ad ITS s.r.l. in data 30 marzo 2015 le prestazioni di **“Campagna di indagine, ispezione e caratterizzazione dello stato di degrado strutturale del ponte S. Michele a Paderno d'Adda, sulla linea Seregno – Bergamo, tratta Calusco d'Adda – Paderno d'Adda”**.

L'obiettivo delle attività svolte è la **verifica della sicurezza strutturale dell'opera** ai sensi del D.M. del 14.01.2008. La valutazione della sicurezza del ponte è volta a stabilire se la struttura esistente è ancora idonea o meno a resistere alle combinazioni delle azioni di progetto secondo i livelli prestazionali fissati dalle NTC e, nel caso di esito negativo, fornisce il livello prestazionale massimo che la struttura è capace di sostenere.

L'incarico è stato caratterizzato dalle seguenti **fasi operative**:

Fase 1 – Raccolta della documentazione disponibile con particolare interesse ai documenti di progetto originale, agli interventi di ristrutturazione, alle relazioni di calcolo e geologiche;

Fase 2 – Elaborazione di un modello FEM preliminare per la redazione di un piano di indagine mirato e per capire in maniera preliminare le eventuali criticità della struttura;

Fase 3 – Redazione di un piano operativo delle attività di rilievo e indagine;

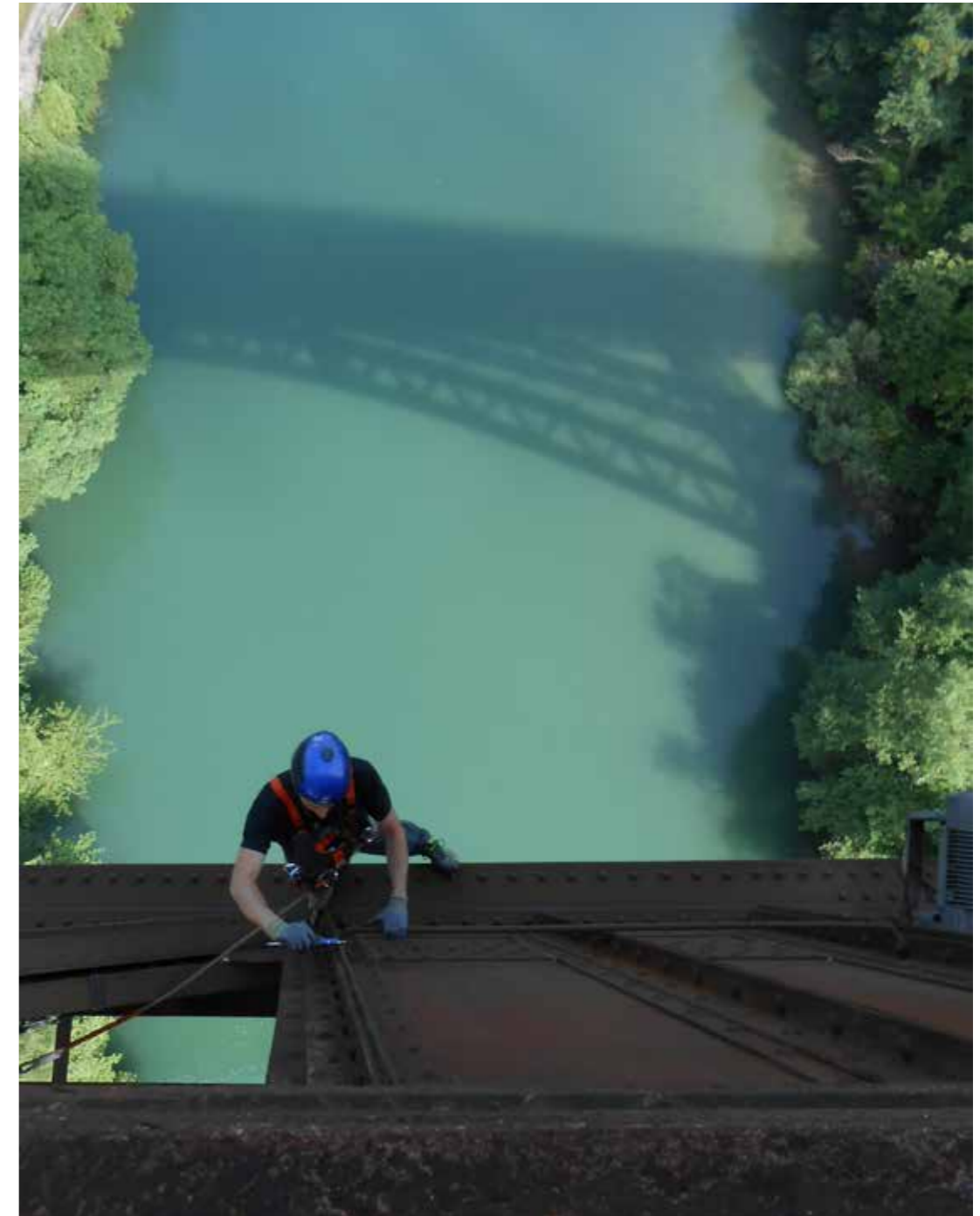
Fase 4 – Campagna di indagine puntuale che ha portato al rilievo ed alla mappatura dell'effettivo stato di degrado di tutte parti dell'opera. Tale rilievo è stato effettuato da ingegneri strutturisti con l'ausilio di tecniche alpinistiche per il raggiungimento di tutti le parti della struttura ad una distanza inferiore a 1,5m;

Fase 5 – Caratterizzazione meccanica dei materiali con prelievi e ripristini;

Fase 6 – Caratterizzazione geologica e geotecnica del sito con prove geofisiche tipo MASW, H/V, tomografia sismica a rifrazione e rilievo morfologico e geomeccanico degli affioramenti;

Fase 7 – Creazione di un modello FEM di dettaglio nel quale sono stati modellati tutti gli elementi principali dell'opera con le effettive sezioni rilevate. Su questo modello di dettaglio sono state applicate ad ogni elemento le effettive riduzioni, legate allo stato di degrado, rilevate dalla campagna di ispezione;

Fase 8 – Definizione dei livelli di vulnerabilità e sicurezza della struttura secondo quanto stabilito dal D.M. 2008 e dalle normative interne RFI con varie combinazioni di carico.

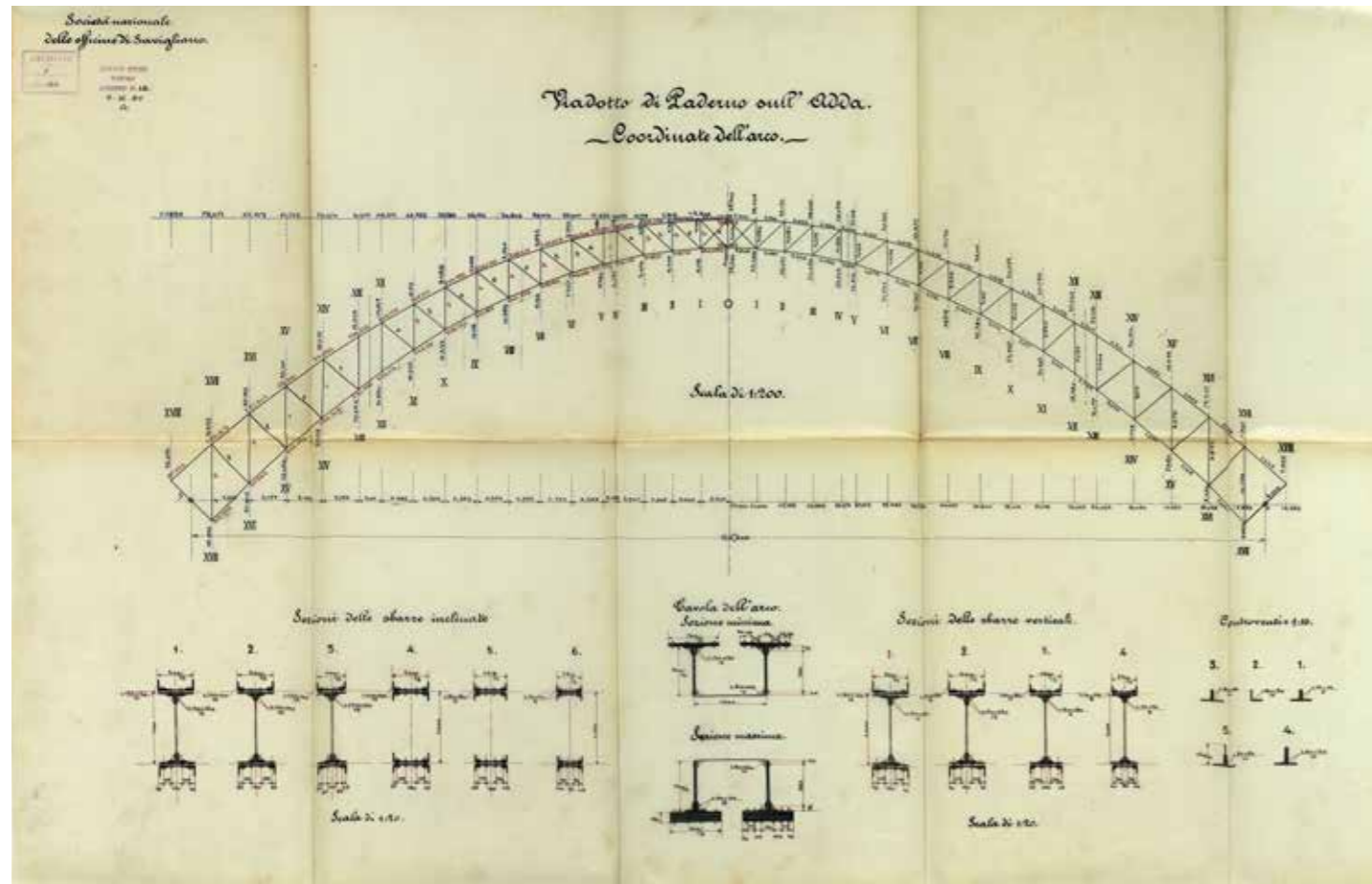


Il Ponte S. Michele sull'Adda è costituito da:

- un'arco metallico da 150m di corda e 37,5m di freccia ed è composto da una doppia coppia di profili ad andamento parabolico ed inclinazione verso l'interno;
- una travata rettilinea a doppio impalcato;
- n.7 pile tronco-coniche a sezione rettangolare poggianti sull'arco (le n.4 centrali) e su strutture in muratura (le n.3 laterali).

Il collaudo provvisorio è avvenuto nel 1889 mentre il **collaudo definitivo nel 1892**.

Disegno originale per la definizione ed il tracciamento dell'arco



Nel corso degli anni si sono susseguiti **diversi interventi manutentivi**, in particolare:

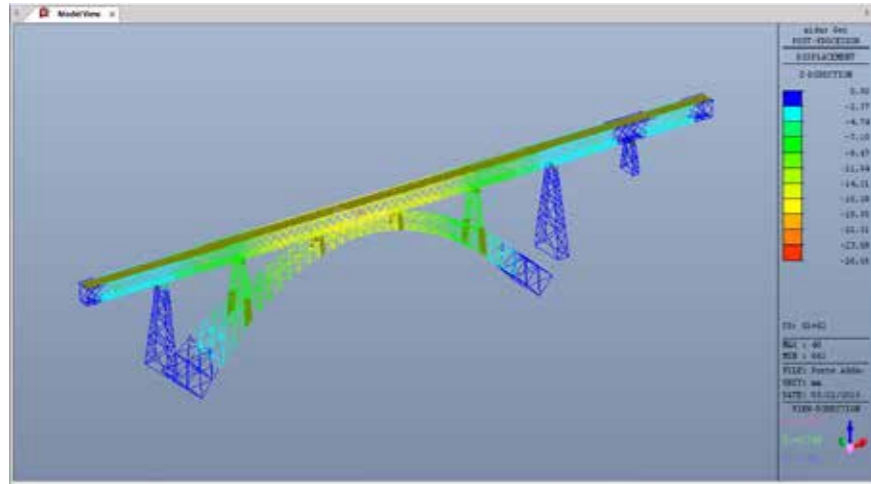
- nel 1953, manutenzione e riparazione dei danni subiti a seguito dei bombardamenti;
- nel 1972, sostituzione impalcato stradale con lastra ortotropa;
- nel 1992, ristrutturazione dell'impalcato ferroviario.

Foto dell'epoca del ponte da poco ultimato - Agosto 1889

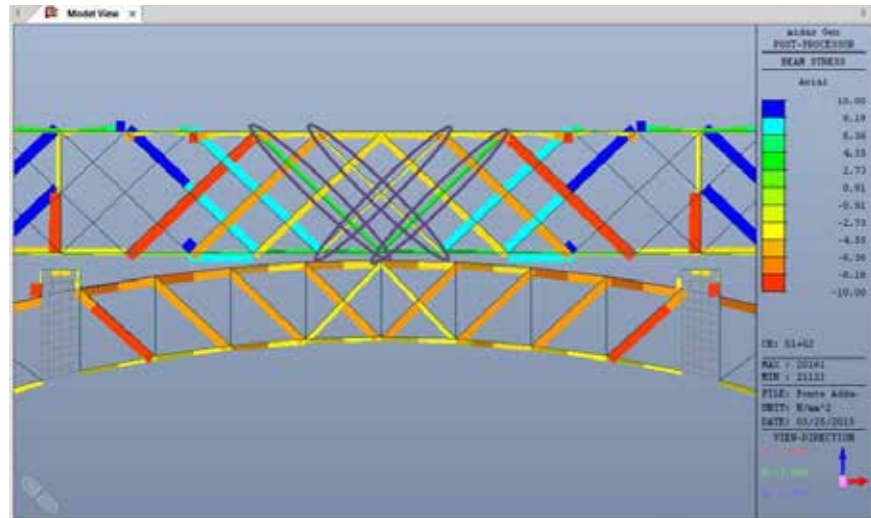


La modellazione FEM preliminare è stata elaborata al fine di:

- **ottimizzare la campagna di caratterizzazione dei materiali** in progetto;
- **conoscere lo stato tensionale cui è soggetta la struttura** sotto l'azione delle combinazioni di carico studiate.



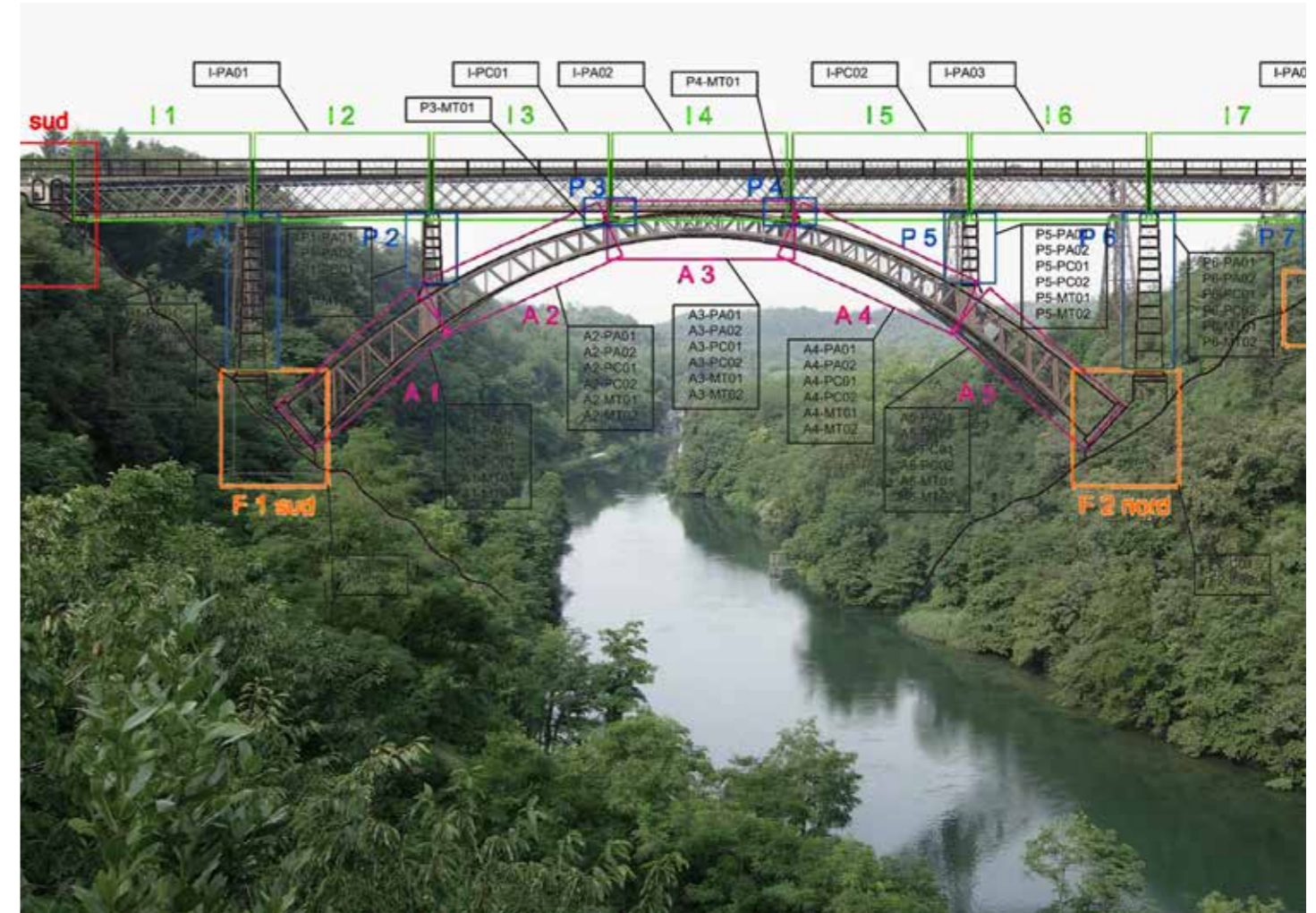
Output delle deformazioni da pesi permanenti



Particolare della chiave dell'arco con evidenziate le aste meno sollecitate, e quindi più adatta ad effettuare i prelievi

La redazione del piano operativo si fonda su una prima conoscenza dell'opera, attraverso il preliminare studio della documentazione e l'analisi dei risultati del modello FEM preliminare.

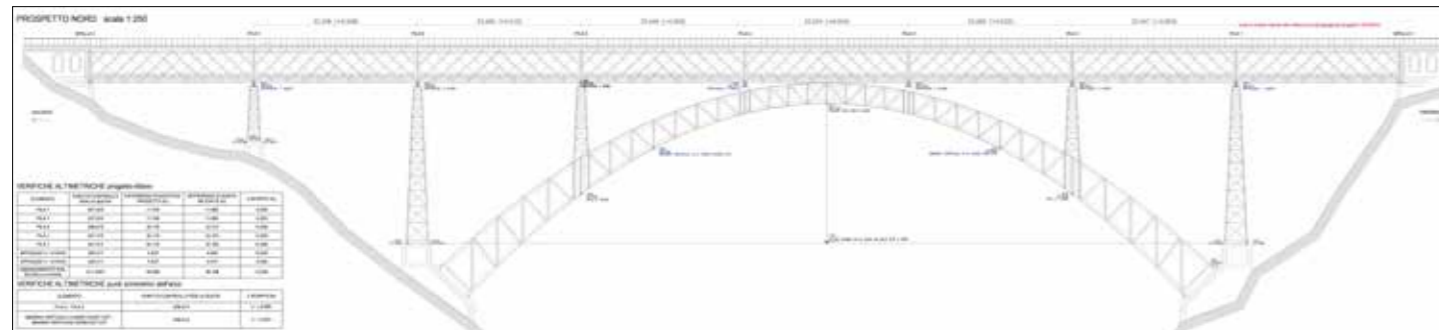
In questa fase, coerentemente a quanto esposto in normativa, sono state individuato qualitativamente e quantitativamente le indagini da eseguire nella campagna di caratterizzazione dei materiali.



La **campagna di indagine puntuale e di dettaglio** del Ponte S. Michele è consistita in:

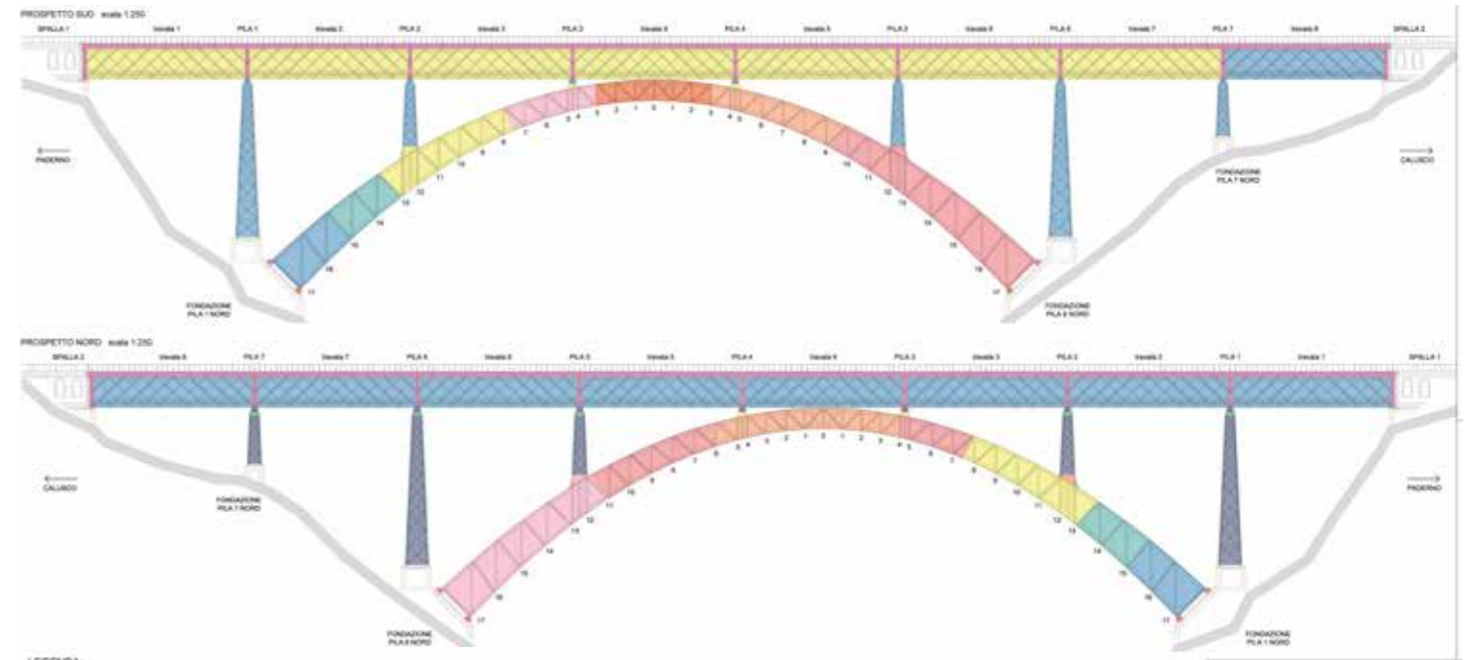
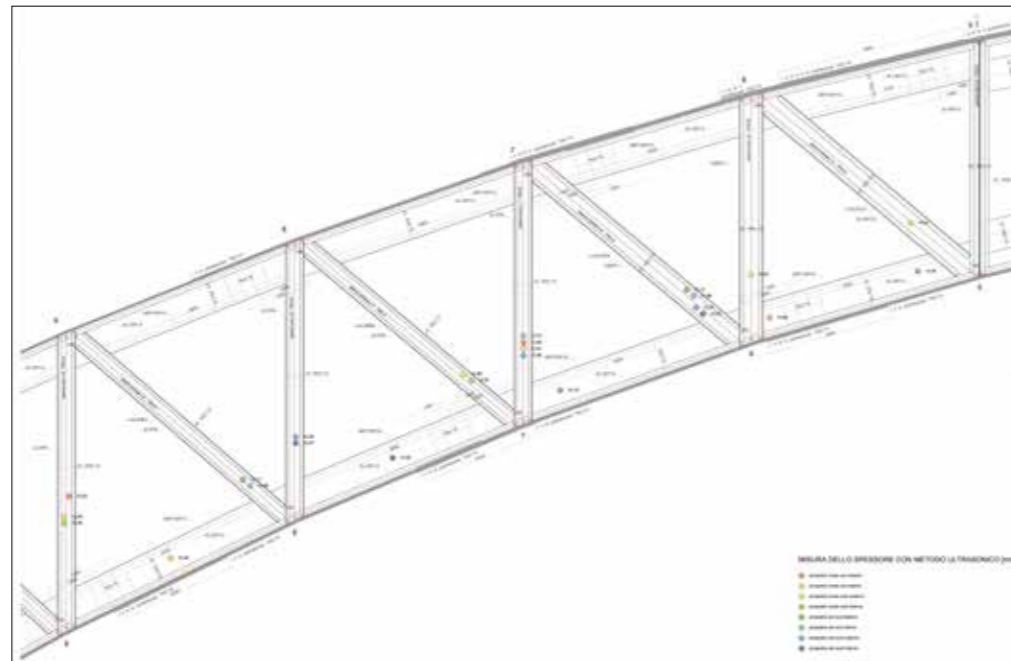
- un rilievo topografico 3D;
- un rilievo geometrico di tutte le parti dell'opera;
- la mappatura del degrado di ciascun profilo costituente il ponte.

Tale rilievo è stato effettuato da **ingegneri strutturisti con l'ausilio di tecniche alpinistiche** per il raggiungimento di tutti le parti della struttura ad una distanza inferiore a 1,5m.



In alto: restituzione del rilievo topografico 3D

A sinistra: restituzione del rilievo geometrico di dettaglio dell'arco (dal nodo n.5 al nodo n.9) e della misura dello spessore dei profili mediante metodo ultra sonico

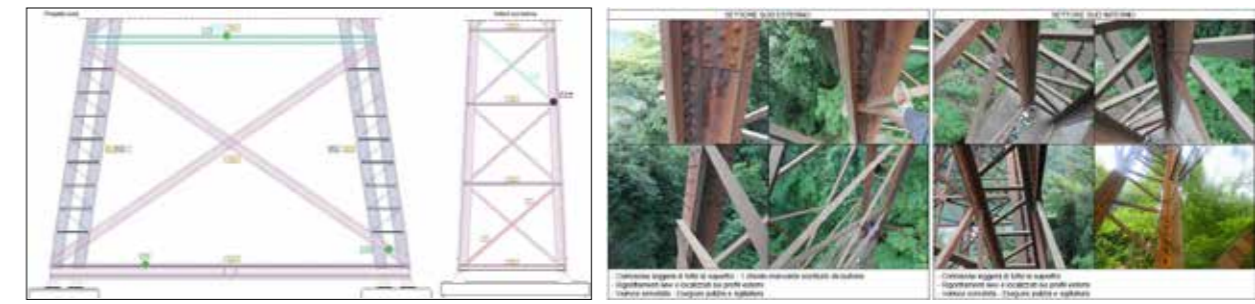


LEGENDA

	ELEMENTI CHE PRESENTANO CONDIZIONI SUPERFICIALI E PROFONDE SPOLATURA DELLA VERGHE DI PROTEZIONE, SCOPPIAMENTO DIFFUSE SPOLATURE SUI NODI DI GIUNZIONE E DEGRADO CHE INTERESSANO INTERI ELEMENTI PRESENTANDO LA SOSTITUZIONE DI COMPONENTI A TUTTI GLI ELEMENTI DEL SETTORE SELEZIONATO.		ELEMENTI CHE PRESENTANO CONDIZIONI SUPERFICIALI E PROFONDE SPOLATURA DELLA VERGHE DI PROTEZIONE, SCOPPIAMENTO DIFFUSE SPOLATURE SUI NODI DI GIUNZIONE E DEGRADO CHE INTERESSANO INTERI ELEMENTI PRESENTANDO LA SOSTITUZIONE DI COMPONENTI A TUTTI GLI ELEMENTI DEL SETTORE SELEZIONATO.
	ELEMENTI CHE PRESENTANO CONDIZIONI SUPERFICIALI E PROFONDE SPOLATURA DELLA VERGHE DI PROTEZIONE, SCOPPIAMENTO DIFFUSE SPOLATURE SUI NODI DI GIUNZIONE E DEGRADO CHE INTERESSANO INTERI ELEMENTI PRESENTANDO LA SOSTITUZIONE DI COMPONENTI A TUTTI GLI ELEMENTI DEL SETTORE SELEZIONATO.		ELEMENTI CHE PRESENTANO CONDIZIONI SUPERFICIALI E PROFONDE SPOLATURA DELLA VERGHE DI PROTEZIONE, SCOPPIAMENTO DIFFUSE SPOLATURE SUI NODI DI GIUNZIONE E DEGRADO CHE INTERESSANO INTERI ELEMENTI PRESENTANDO LA SOSTITUZIONE DI COMPONENTI A TUTTI GLI ELEMENTI DEL SETTORE SELEZIONATO.
	ELEMENTI CHE PRESENTANO CONDIZIONI SUPERFICIALI E PROFONDE SPOLATURA DELLA VERGHE DI PROTEZIONE, SCOPPIAMENTO DIFFUSE SPOLATURE SUI NODI DI GIUNZIONE E DEGRADO CHE INTERESSANO INTERI ELEMENTI PRESENTANDO LA SOSTITUZIONE DI COMPONENTI A TUTTI GLI ELEMENTI DEL SETTORE SELEZIONATO.		ELEMENTI CHE PRESENTANO CONDIZIONI SUPERFICIALI E PROFONDE SPOLATURA DELLA VERGHE DI PROTEZIONE, SCOPPIAMENTO DIFFUSE SPOLATURE SUI NODI DI GIUNZIONE E DEGRADO CHE INTERESSANO INTERI ELEMENTI PRESENTANDO LA SOSTITUZIONE DI COMPONENTI A TUTTI GLI ELEMENTI DEL SETTORE SELEZIONATO.

In alto e a sinistra: restituzione della mappatura del degrado generale, relativa ai prospetti sud e nord del Ponte S. Michele

In basso: restituzione della mappatura del degrado puntuale su singolo profilo (in questo caso sono riportati i prospetti ovest e sud-esterno della pila n.1 - settore 04)



Sono state previste **indagini e prove sugli elementi strutturali principali dell'opera per perseguire un livello di conoscenza LC3**, secondo la normativa vigente per ponti esistenti.

In particolare la caratterizzazione meccanica consiste in:

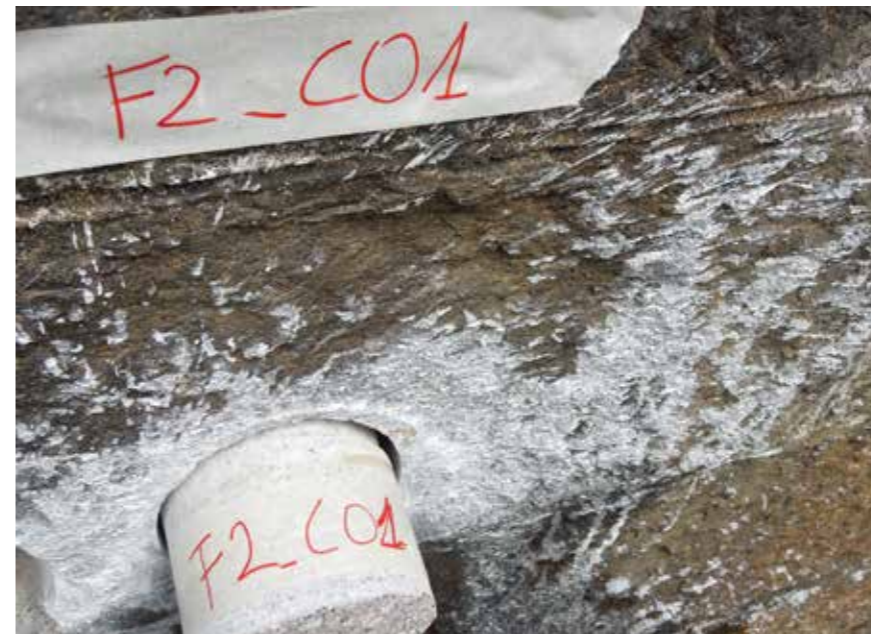
- **controlli di tipo distruttivo sugli acciai da carpenteria** (prelievo di barre e chiodi - in laboratorio prove di trazione, taglio, tenacità, analisi chimiche);
- **controlli di tipo non distruttivo sugli acciai da carpenteria** (esame visivo VT, esame magnetoscopico MT);
- **indagini sulle fondazioni** (prelievo di carote, prove di compressione monoassiale);
- **indagini sull'asfalto** (perforazione, misura dello spessore).



Nella pagina a fianco: fase di prelievo di un provino d'acciaio da carpenteria

A sinistra: prelievo di un chiodo con indagine visiva VT

In basso: prelievo di una carota di fondazione



La **caratterizzazione sismica, geologica, geotecnica e geomeccanica del sito** è stata condotta attraverso:

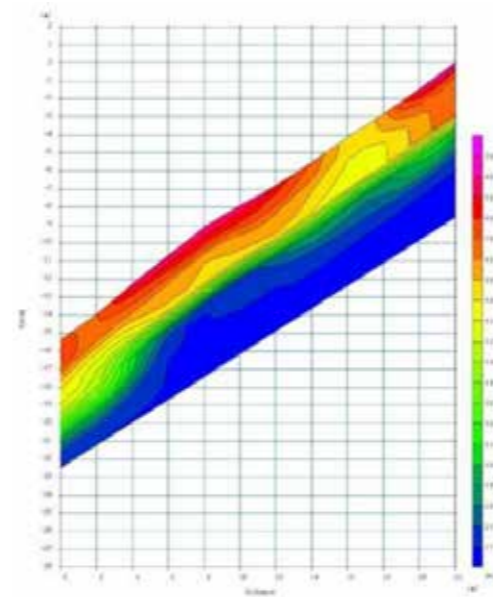
- un **rilievo geologico di dettaglio**, compresa l'individuazione degli elementi morfologici ed idrogeologici;
- **prospezioni geofisiche** con tecnica tomografica sismica;
- l'esecuzione di **analisi multicanale delle onde di superficie** (MASW);
- **analisi dei rapporti spettrali** (HVSr).



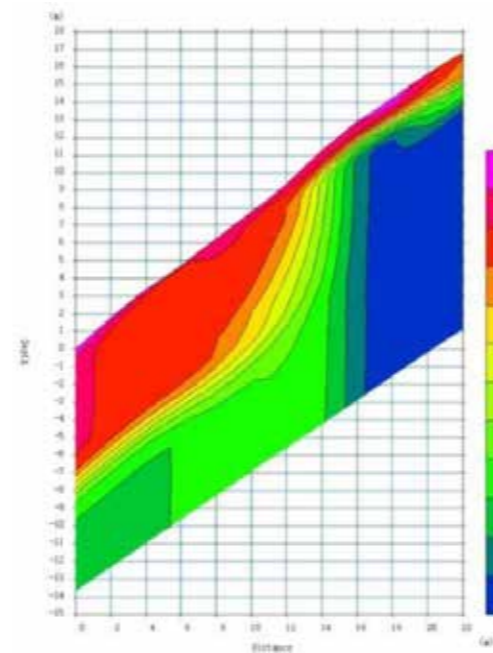
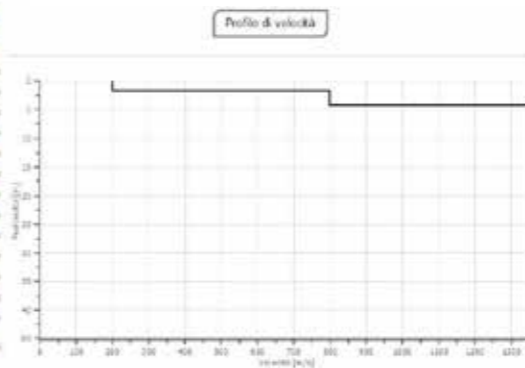
Stendimento sismico S1 - lato Calusco



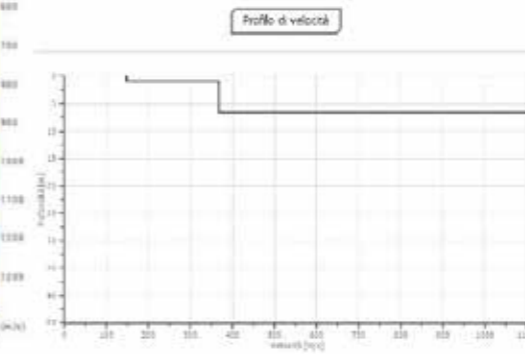
Prova H/V realizzata al centro dello stendimento S2 - lato Paderno



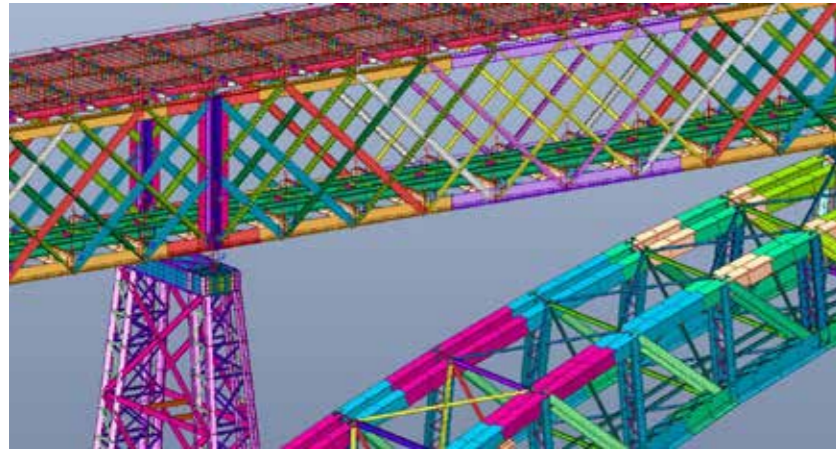
VERSANTE EST - CALUSCO
Sezione sismo-stratigrafica rappresentativa e profilo di velocità Vs. In blu il substrato roccioso compatto, in giallo rocce alterate ed in rosso la ridotta coltre fluviale.



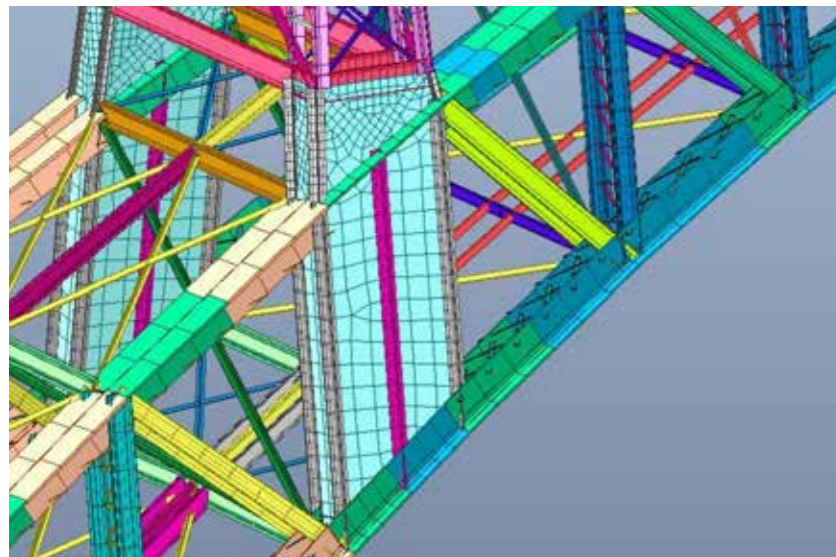
VERSANTE OVEST - PADERNO
Sezione sismo-stratigrafica rappresentativa e profilo di velocità Vs. In blu il substrato roccioso compatto, in verde rocce molto alterate ed in rosso la coltre fluviale.



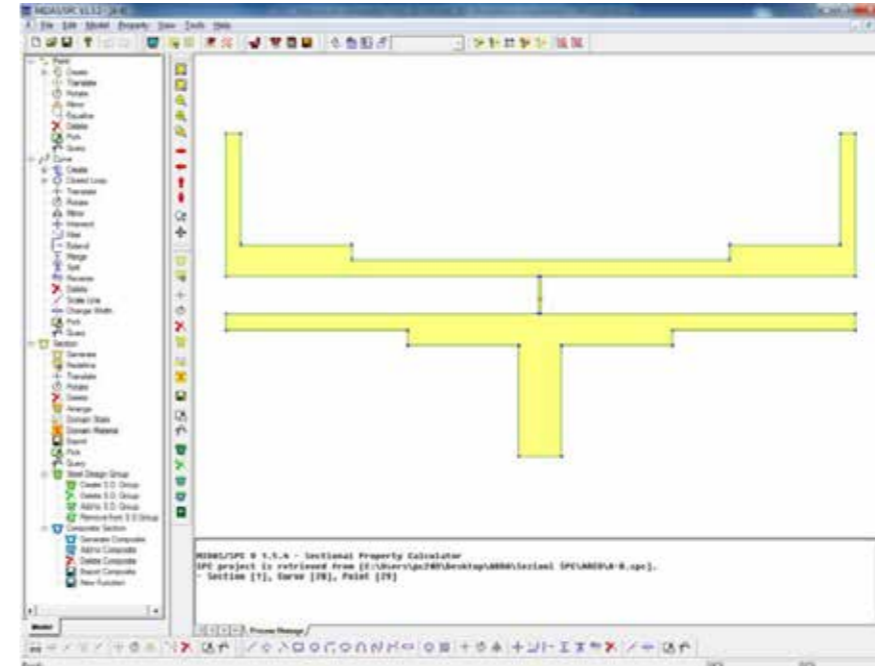
Successivamente alla fase di caratterizzazione dei materiali e del sito, è stato elaborato un **modello FEM di dettaglio** del ponte S. Michele nel quale **sono stati modellati tutti gli elementi principali dell'opera con le effettive sezioni rilevate**. Su questo modello successivamente **sono state applicate ad ogni elemento le effettive riduzioni legate allo stato di degrado rilevato** durante la campagna di ispezione.



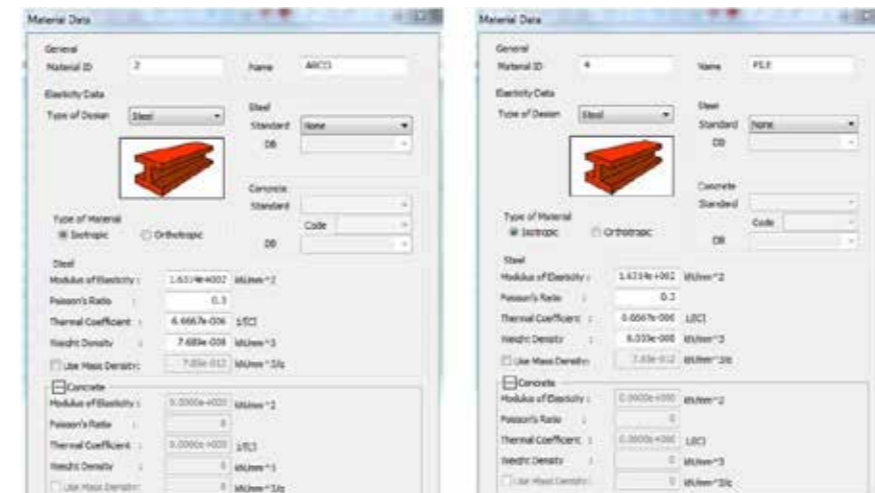
Particolare della modellazione della travata principale



Particolare della modellazione dell'attacco tra la pila 2 e l'arco



Le sezioni complesse sono state create attraverso l'applicativo MIDAS - SPC e poi applicate all'elemento da modellare

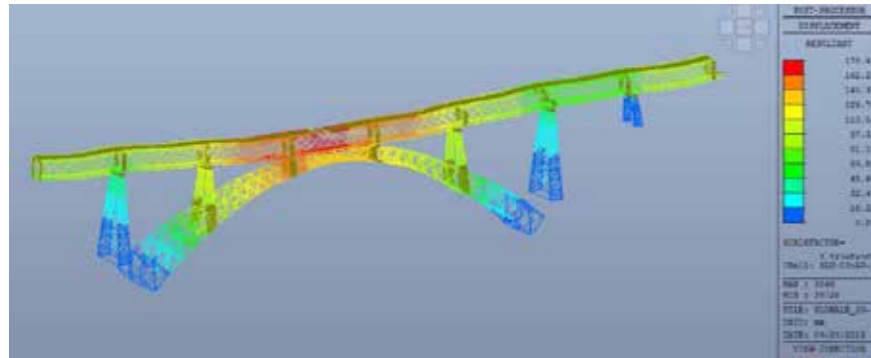


Definizione dei materiali - acciaio per le parti restaurate della trave

L'ultima fase del servizio consiste nella **definizione dei livelli di vulnerabilità e sicurezza della struttura** secondo quanto stabilito dal D.M. 2008 e dalle normative interne RFI con varie combinazioni di carico:

- **LM71** (traffico ferroviario normale) con e senza traffico stradale simultaneo;
- **SW/2** (traffico ferroviario pesante) con e senza traffico stradale simultaneo;
- **C3** (carico reale) con e senza traffico stradale simultaneo.

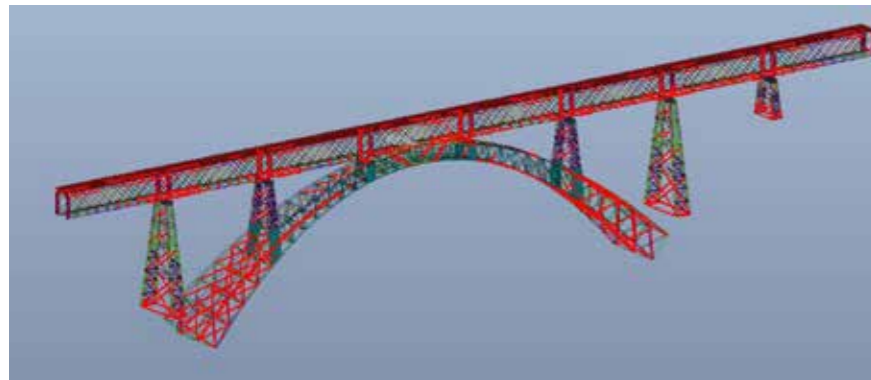
Dai risultati emersi in fase di analisi si è potuto constatare come il ponte abbia delle **carenze strutturali** che non interessano solamente le **aste di controventamento**, ma **anche parte degli elementi strutturali principali** (travature longitudinali principali della trave reticolare, traversi, travature longitudinali di bordo superiore), a seconda della combinazione di carico analizzata. La struttura infatti **risente maggiormente del passaggio del convoglio ferroviario tipo SW/2 rispetto al tipo LM71 e C3**, comportando un possibile intervento di adeguamento strutturale decisamente più importante.



Verifica statica combinazione C3 + traffico stradale

A sinistra: output della deformata complessiva con spostamento massimo 170,52 mm

In basso: output degli elementi non verificati (in rosso)



Conclusioni

Il processo di **valutazione della vulnerabilità statica e sismica** del Ponte S. Michele ha messo in luce due differenti questioni:

- la prima legata alla pura verifica in rispetto delle attuali normative tecniche (in base alle diverse combinazioni di carico assegnate si ottengono diversi scenari di adeguamento);
- la seconda legata allo stato di degrado della struttura (grazie all'estesa e dettagliata campagna di indagine dove è stato possibile verificare puntualmente gli interventi di manutenzione necessari).

Verifiche statiche

Dai risultati ottenuti si osserva che per tutte le condizioni di carico analizzate la struttura presenta dei problemi alle controventature di piano dell'arco, della trave reticolare e della base delle pile. Questo problema era già stato osservato in fase di campagna di indagine dove è riscontrata l'eccessiva snellezza dei profili in funzione della loro luce libera.

Per quanto concerne gli elementi strutturali principali del ponte, questi per alcune combinazioni (combinazioni C3) di carico risultano per la gran parte verificati, ma per altre (combinazioni LM71 e SW/2) questi risultano fortemente non verificati.

Verifiche sismiche

Dai risultati ottenuti è possibile affermare che il Ponte S. Michele non risente in maniera importante dell'azione sismica per due motivi:

- essendo una struttura molto snella e leggera la massa in gioco è relativamente modesta, e quindi l'azione sismica si riduce notevolmente (per questa struttura infatti l'azione del vento è sicuramente più penalizzante);
- il sito dove è localizzato il ponte ricade in una zona a bassa sismicità (zona 4) ed i parametri utilizzati (classe d'uso e vita nominale) riducono ulteriormente l'azione sismica in gioco.

Valutazioni di vulnerabilità legate al degrado

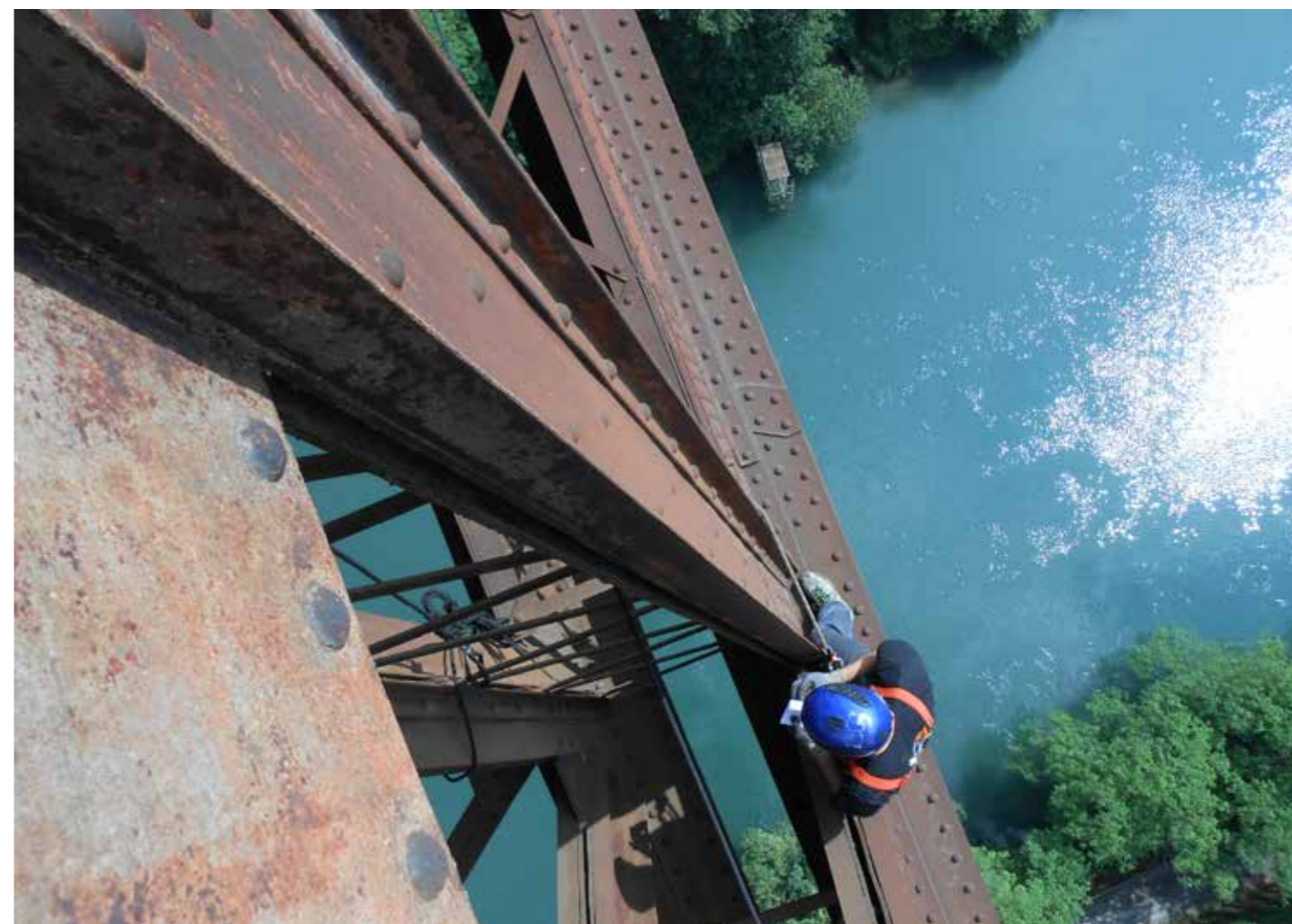
Grazie all'estesa campagna di indagine ed ispezione è stato possibile cogliere e comprendere con occhio critico i reali problemi legati alla durabilità ed al degrado del ponte.

In generale si consiglia il ripristino di tutti gli elementi deteriorati a causa del continuo ristagno d'acqua, attraverso la locale riparazione dei profili e/o la loro sostituzione nei casi più critici. Inoltre per una generale messa in sicurezza e per evitare sollecitazioni vibrazionali eccessive, si consiglia il prolungamento della lastra ortotropa del piano stradale a sostituzione degli elementi lapidei a sbalzo, ed il rifacimento del pacchetto di usura.

Valutazioni globali

E' evidente come le carenze strutturali dovute alla perdita di resistenza (dovute al degrado ed alle modalità costruttive) rendano **necessari degli interventi di rinforzo strutturale**. Si può affermare che, con un restauro delle parti più degradate e l'integrazione delle resistenze mancanti possa far avvicinare l'indice di rischio al valore unitario con tutti i carichi previsti da normativa.

In quest'ottica si ritiene opportuno un intervento di restauro dell'opera con adeguamento ad un transito di treni di categoria C3 a 120km/h.



ITS engineering company

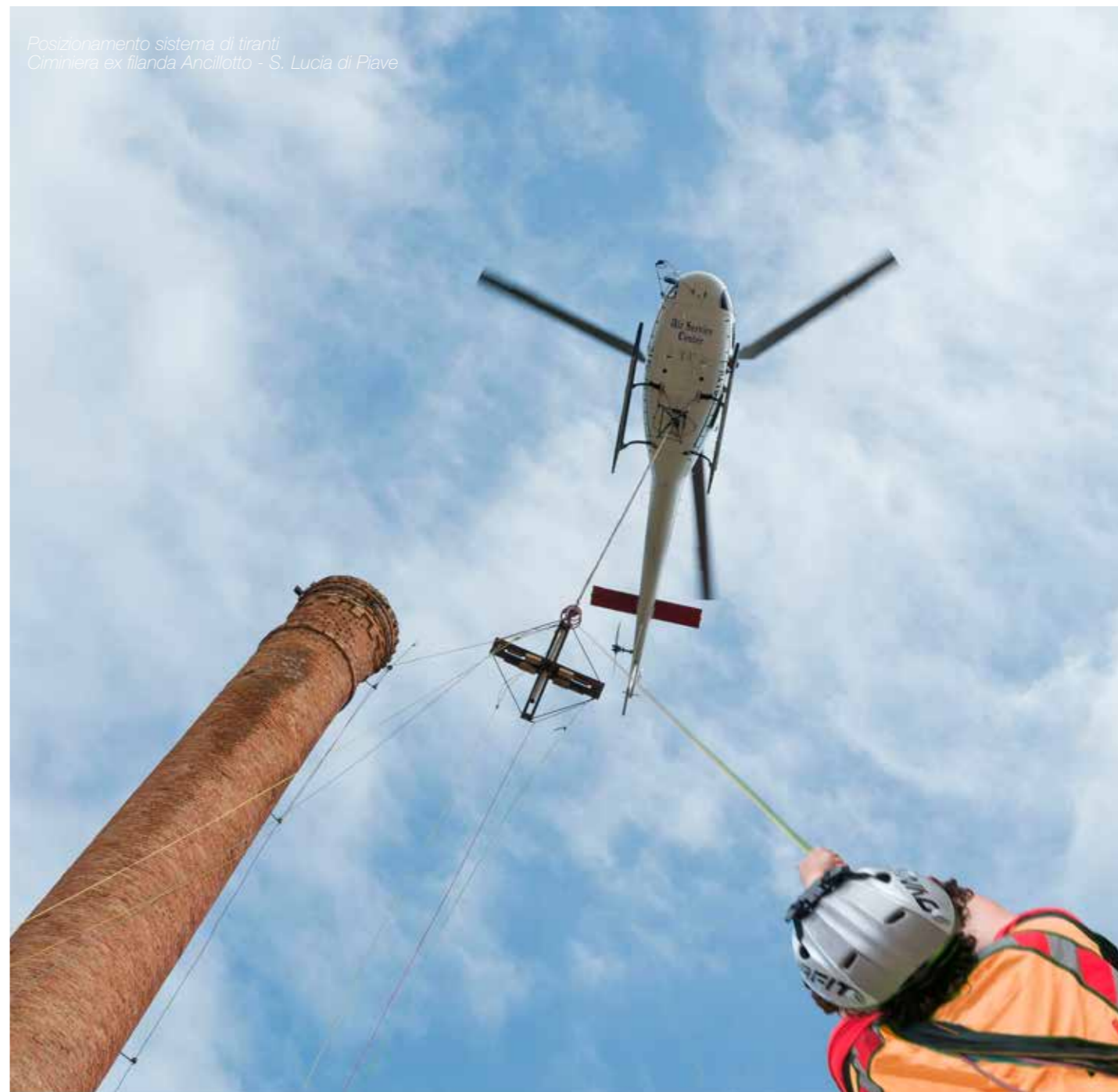
ITS engineerig company è una società di ingegneria che ha posto al centro dell'attenzione e del *core business* i temi contemporanei della cura e manutenzione delle infrastrutture, delle opere e dei territori nei contesti ad economia matura, e dello sviluppo sostenibile nei paesi emergenti. **ITS** utilizza la **complessità** come metodo di approccio ai problemi, la **multidisciplinarietà** come strumento e la **sostenibilità** come fine, trovando in questa modalità il proprio riposizionamento competitivo.

In coerenza con ciò, **ITS** si è data un modello di *governance* evolutivo, aperto nella sua strutturazione in dipartimenti e flessibile nell'utilizzo delle risorse, orientato allo sviluppo di competenze altamente specializzate all'interno di un progetto di crescita, **AUCTUS 2016**, che raccoglie l'esperienza maturata in decenni di attività, aggiornata nei linguaggi, negli strumenti e nelle competenze, per essere calata nei processi di trasformazione in atto.

Con **AUCTUS 2016** (lat. *crescita, sviluppo*) la società si è strutturata in *cantieri di ingegneria* tra loro federati e dotati di personale specializzato dedicato e di un proprio direttore di dipartimento, che consente **autonomia gestionale e di sviluppo**.

ITS Inspection è il primo dipartimento specialistico di **ITS** nato nel 2012 a seguito dell'esperienza maturata nel corso di un servizio di ispezione e di impianto di un sistema di monitoraggio da stazione remota sul Ponte Cadore, ponte a cavalletto inserito lungo la SS51 a superamento del Fiume Piave in prossimità di Tai di Cadore.

**its the idea !
its the team !
its the solution !**





www.its-engineering.com

ITS
GENERAL
DEPARTMENT

ENGINEERING
DEPARTMENT

from 2011
Pieve di Soligo (TV)
Cortina d'Ampezzo (BL)

INSPECTION
DEPARTMENT

from 2012
Cortina d'Ampezzo (BL)

ALPINE
DEPARTMENT

from 2016
Capriate - Alleghe (BL)



ITS Inspection Department

Via del Castello, 12
32043 Cortina d'Ampezzo (BL)
tel +39 0436 878488

ITS General Department

Corte delle Caneve, 11
31053 Pieve di Soligo (TV)
tel +39 0438 82082
fax +39 0438 980622

C.F. & P.IVA 02146140260
REA 351225 CAP. SOC. 100.000,00€

info@its-engineering.com
www.its-engineering.com