

*modeling*  
**Smart lab**  
structural *monitoring*  
*advanced materials*  
*rehabilitation*  
*testing*



UNIVERSITÀ  
DELLA CALABRIA

SMART-Lab | Laboratorio di ricerca DIMES-UNICAL

IL TEAM



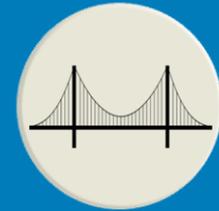
Responsabile Scientifico  
**PROF. ING. RAFFAELE ZINNO**

## SKILLS



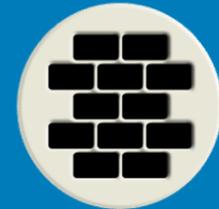
INGEGNERIA ANTISISMICA

INGEGNERIA STRUTTURALE



RILIEVI TOPOGRAFICI  
E GEOLOGICI

SPERIMENTAZIONE SU  
MATERIALI E STRUTTURE



RICERCA E SVILUPPO

MONITORAGGI  
TERRITORIALI E STRUTTURALI



## SERVIZI

- Assistenza tecnico-scientifica alla progettazione, direzione lavori, esecuzione e collaudo di opere ed infrastrutture in ambito civile, ambientale ed industriale
- Studio di vulnerabilità sismica tramite prove non distruttive (pacometro, sclerometro e prove ultrasoniche) ed interventi di messa in sicurezza
- Prelievi di campioni indisturbati con analisi in situ e in laboratorio
- Rilievi topografici e strutturali con stazione totale, GPS e laser scanner
- Monitoraggio strutturale
- Prove di carico statiche e dinamiche su infrastrutture viarie con analisi computazionale (modellazione FEM)
- Prove di carico con martinetti piatti per opere in muratura
- Prove di carico su piastra per verifiche di terreni, sottofondi stradali e pavimentazioni in genere
- Verifica funzionale e della resistenza a fatica su strutture in acciaio
- Verifiche di saldature su strutture metalliche (esame visivo e liquidi penetranti)
- Formulazione e sviluppo di modelli agli elementi finiti e dei relativi codici di calcolo, per l'analisi lineare e non lineare di problemi di meccanica strutturale

# STRUMENTAZIONE



Accelerometri sismici  
DRC



Attrezzatura Pull-Out  
BOVIAR



Ultrasuoni BOVIAR



Macchina di prova idraulica  
MTS



Carotatrice HILTI



Sclerometro  
DRC



Livello LEICA



Stazione totale  
TRIMBLE



Pacometro PROCEQ

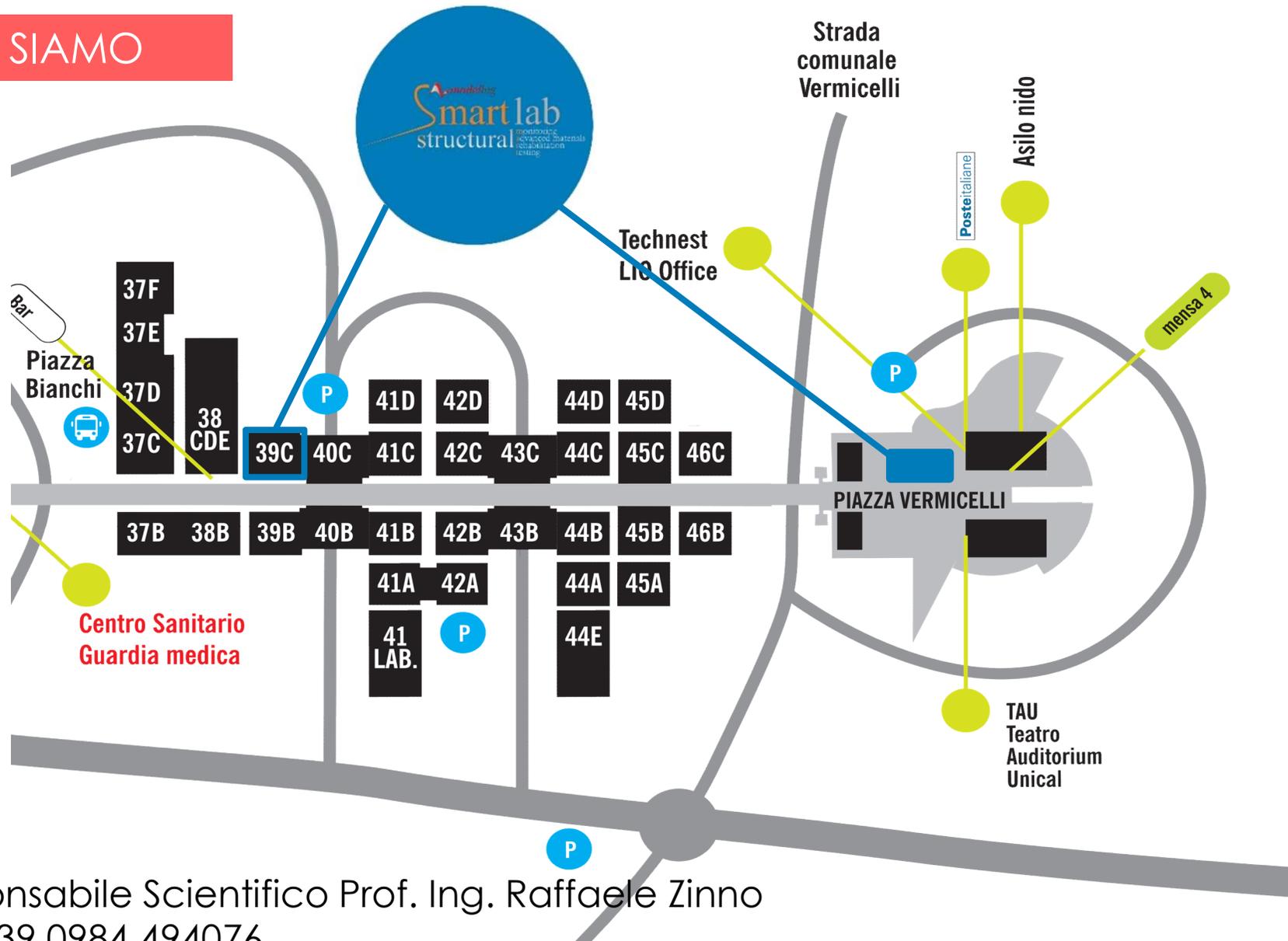


Sismografo digitale PASI

## PROGETTI DI RICERCA

- POR-FSE Regione Calabria 2007-2013 – progetto RISPEISE (Rete Internazionale per lo scambio di buone pratiche in edilizia innovativa, sismicamente sicura ed ecosostenibile)
- PON-MIUR 2007-2013 – progetto ECOFIBAR – capofila DIATIC-UNICAL
- PON-MIUR 2007-2013 – progetto STRIT – capofila STRESS s.c.a.r.l. Università di Napoli “Federico II”
- Polo tecnologico “domotica” Regione Calabria - Progetto DOMUS sicurezza – capofila TELECOM Italia
- PON 03PE\_00024\_1/12 – Laboratorio pubblico-privato per le tecnologie innovative ad alta sostenibilità ambientale nella filiera foresta-legno-energia – capofila CNR ISAFoM

# DOVE SIAMO



Responsabile Scientifico Prof. Ing. Raffaele Zinno

☎ +39 0984 494076

Università della Calabria\_Via Ponte P. Bucci 39/B  
87036 Rende (CS) | Italy

LAVORI

RILIEVO RAPPRESENTAZIONE E MODELLAZIONE  
DI PONTI ANTICHI E MODERNI



# CAMPAGNA DI RILIEVO DI PONTI STRADALI

STRUTTURE RECENTI

AS BUILT

STRUTTURE DATATE

RICOSTRUIRE MODALITÀ  
ESECUTIVA

MODELLI GEOMETRICI  
ELEMENTI FINITI





## GEOREFERENZIAZIONE

**LEICA VIVA**

Rilievo GNSS **dei punti di stazione  
e delle mire**  
Restituzione in **modalità  
differenziale**



## RILIEVO

**RIEGL VZ-1000**

**Accuratezza del singolo punto**  $\pm 8\text{mm}$

**Portata** da 1m a 1400m

**Frequenza di campionamento** fino a 122.000 punti/sec

**Campo di vista**  $100^\circ$  (V) -  $360^\circ$  (h)

**Compensatore e magnetometro**

**Ricevitore GPS**

**Fotocamera** NikonD610 con obiettivo da 20 mm calibrata (in  
asse)

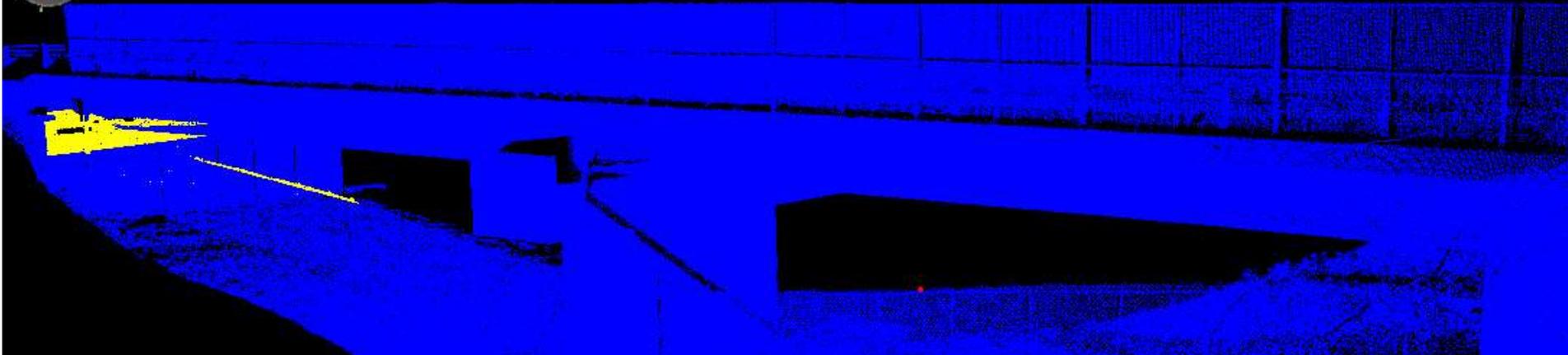
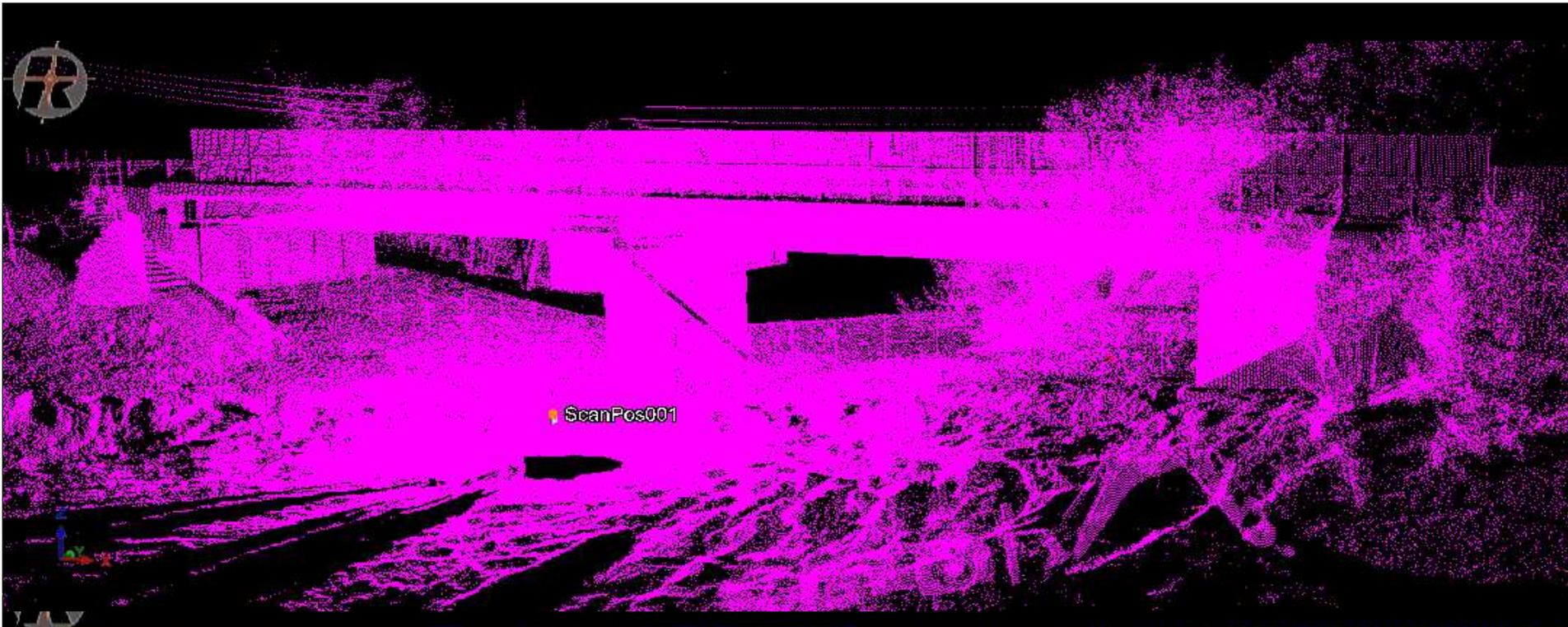
**Acquisizione della forma d'onda dell'impulso di ritorno**

## PONTE ARENAZZA

Cetraz

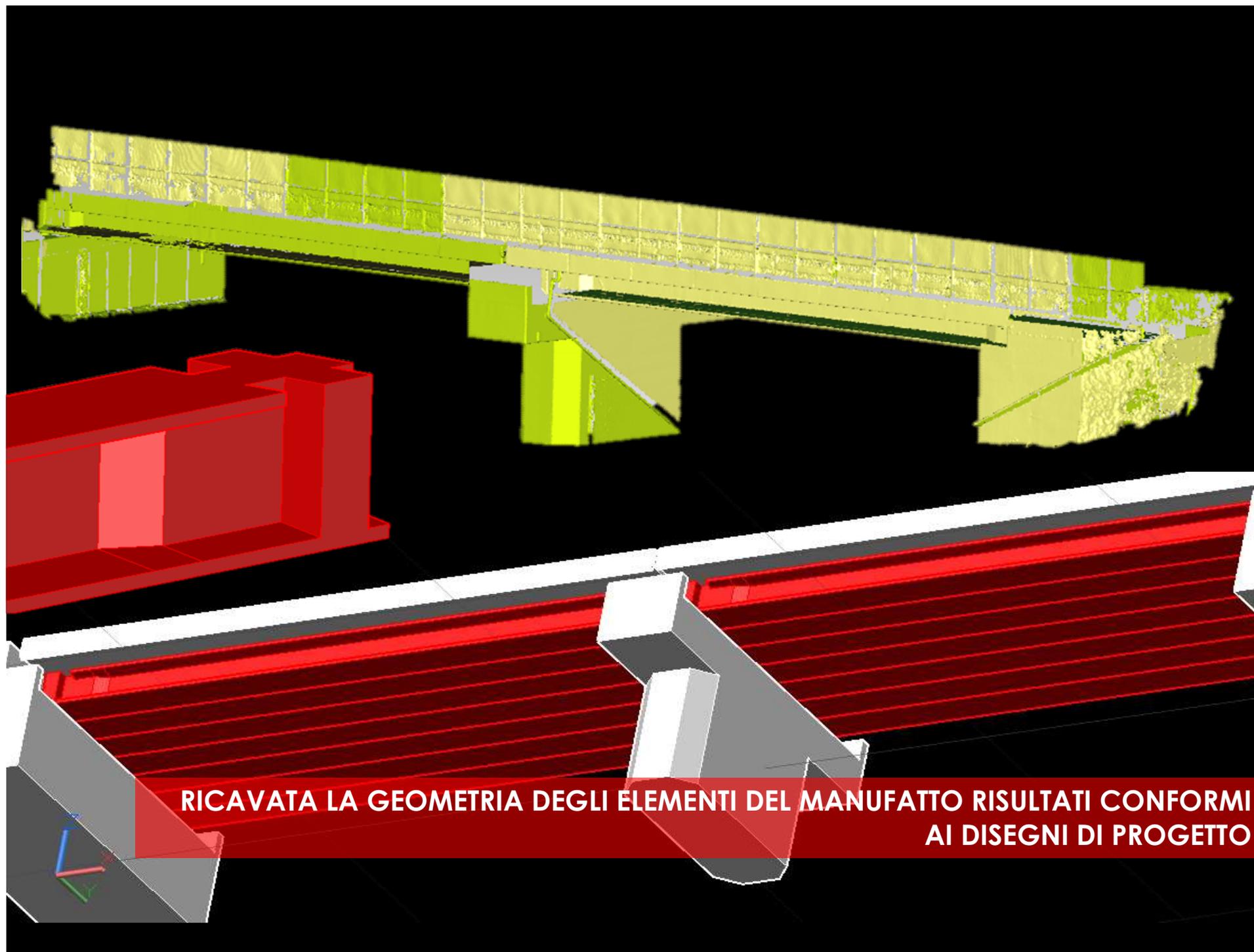
PONTE A DUE CAMPATE CON IMPALCATO COSTITUITO DA TRAVI IN C.A.P.  
AFFIANCATE E SOVRASTANTE SOLETTA IN C.A.





**SCOPO PRINCIPALE DEL RILIEVO: VERIFICA DELLA  
CONFORMITÀ DEL MANUFATTO REALIZZATO AL PROGETTO**

ScanPos001

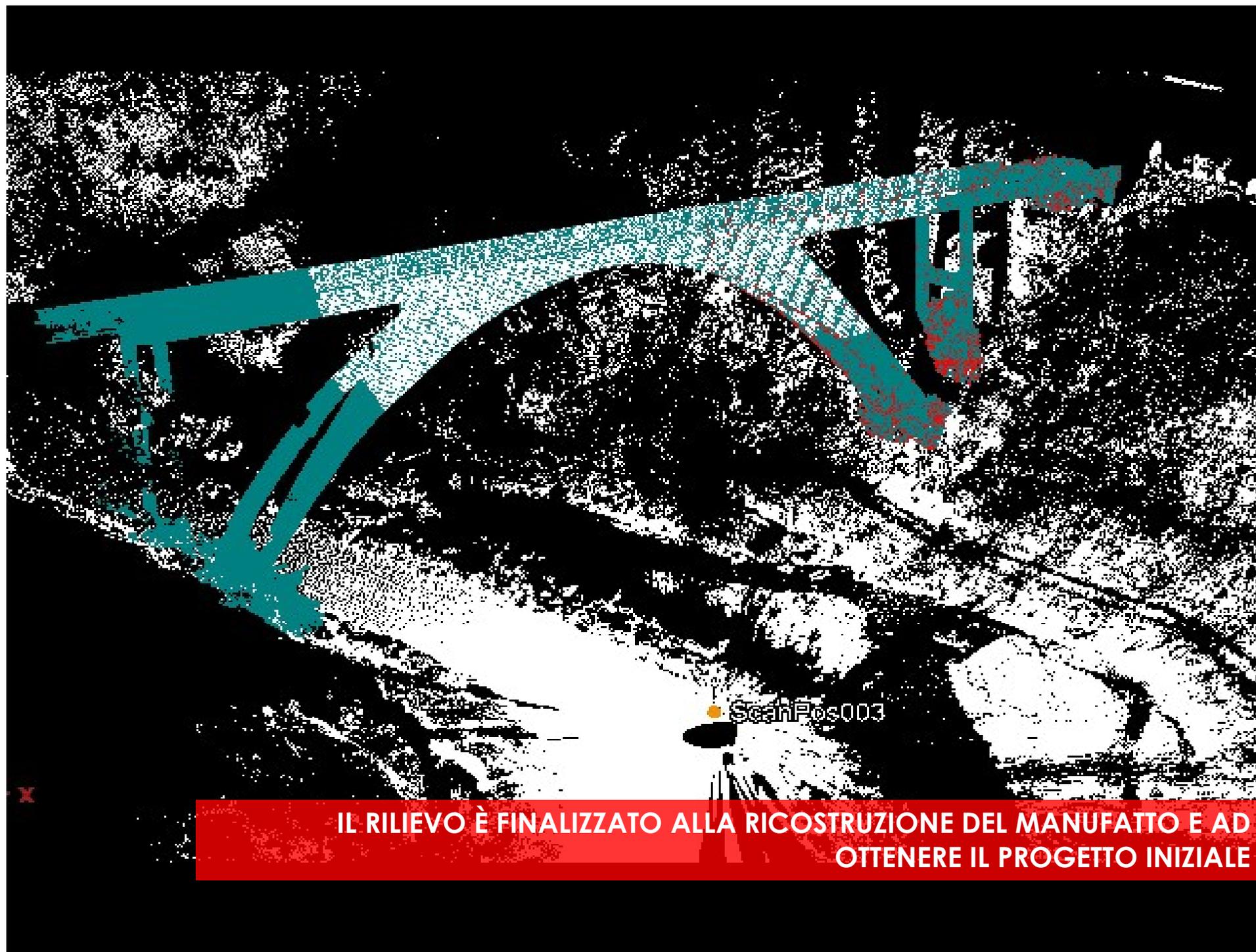


**RICAVATA LA GEOMETRIA DEGLI ELEMENTI DEL MANUFATTO RISULTATI CONFORMI  
AI DISEGNI DI PROGETTO**

## PONTE CAPROVIDI

Cetran

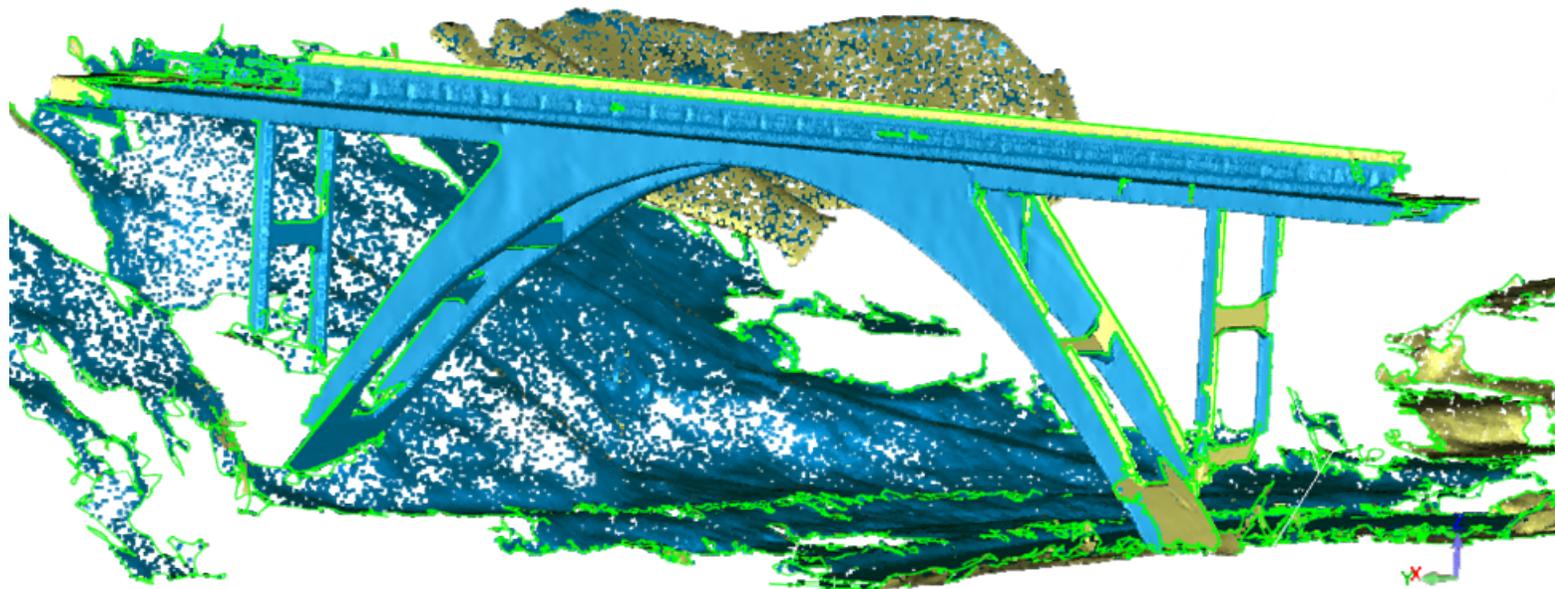
**PONTE AD ARCO (ANNI '50) IN C.A. GETTATO IN OPERA CON DUE PILE A TELAIO CONVERGENTI NEI PLINTI DI APPOGGIO DELL'ARCO**



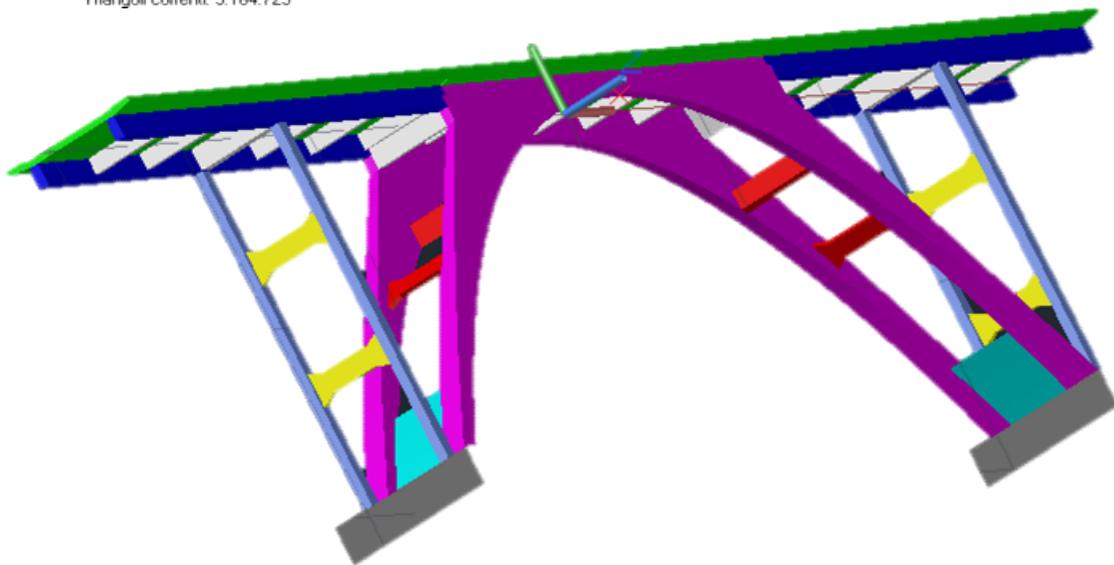
IL RILIEVO È FINALIZZATO ALLA RICOSTRUZIONE DEL MANUFATTO E AD OTTENERE IL PROGETTO INIZIALE



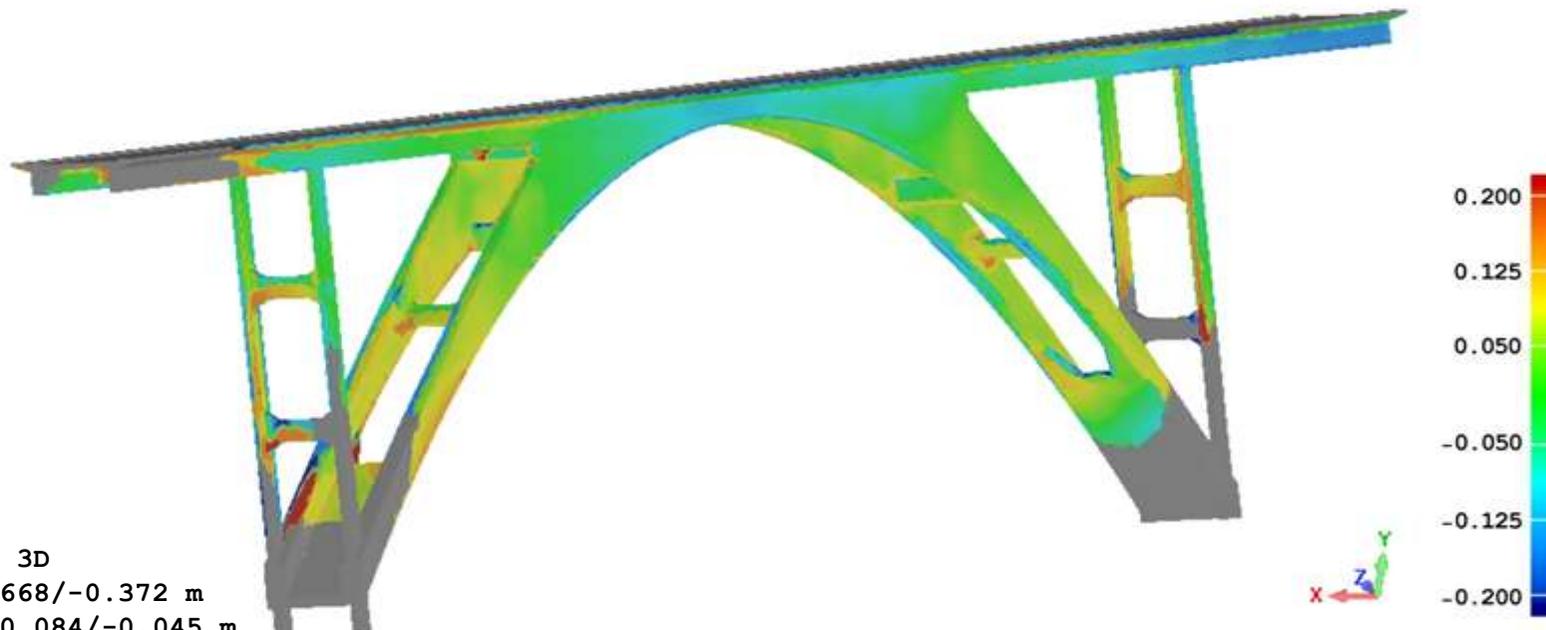
**REGISTRATION: MIRE, COORDINATE DI DUE PUNTI DI STAZIONE,  
PIANI INTERPOLANTI COME PRIMITIVE**



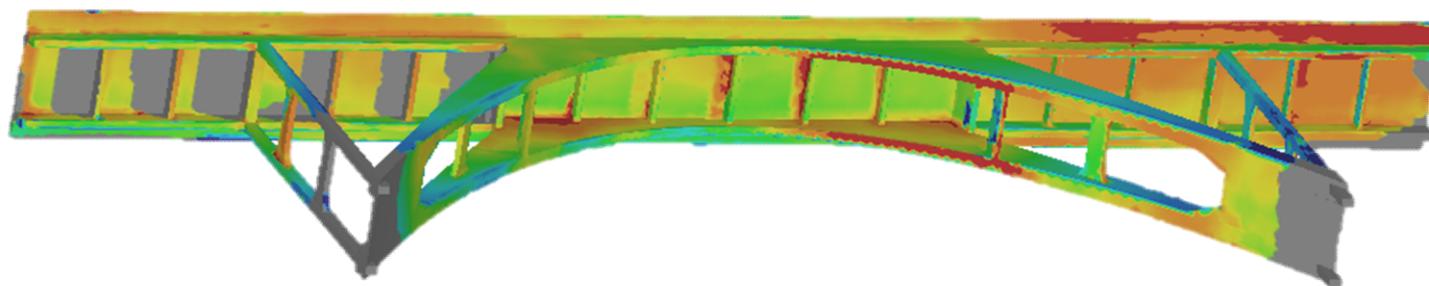
Triangoli correnti: 5.184.725



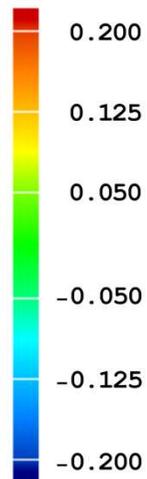
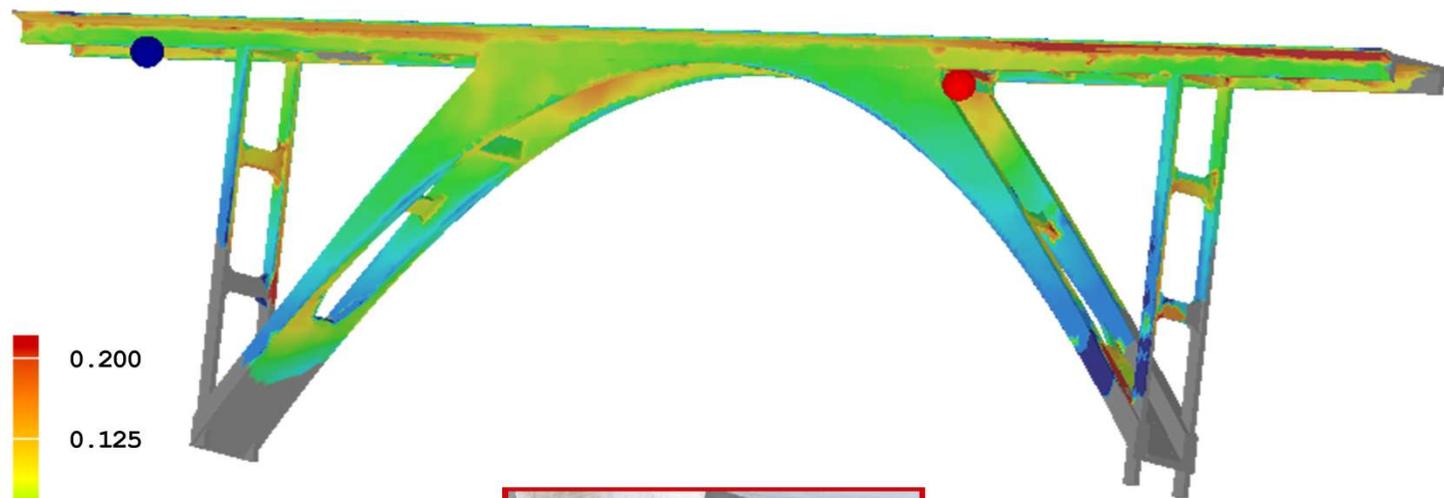
**RICAVATI DUE MODELLI:  
1. MESH (AS BUILT)  
2. GEOMETRICAMENTE  
REGOLARE**



Deviazioni 3D  
Max +/-: 0.668/-0.372 m  
Media +/-: 0.084/-0.045 m  
Deviazione Standard: 0.078 m

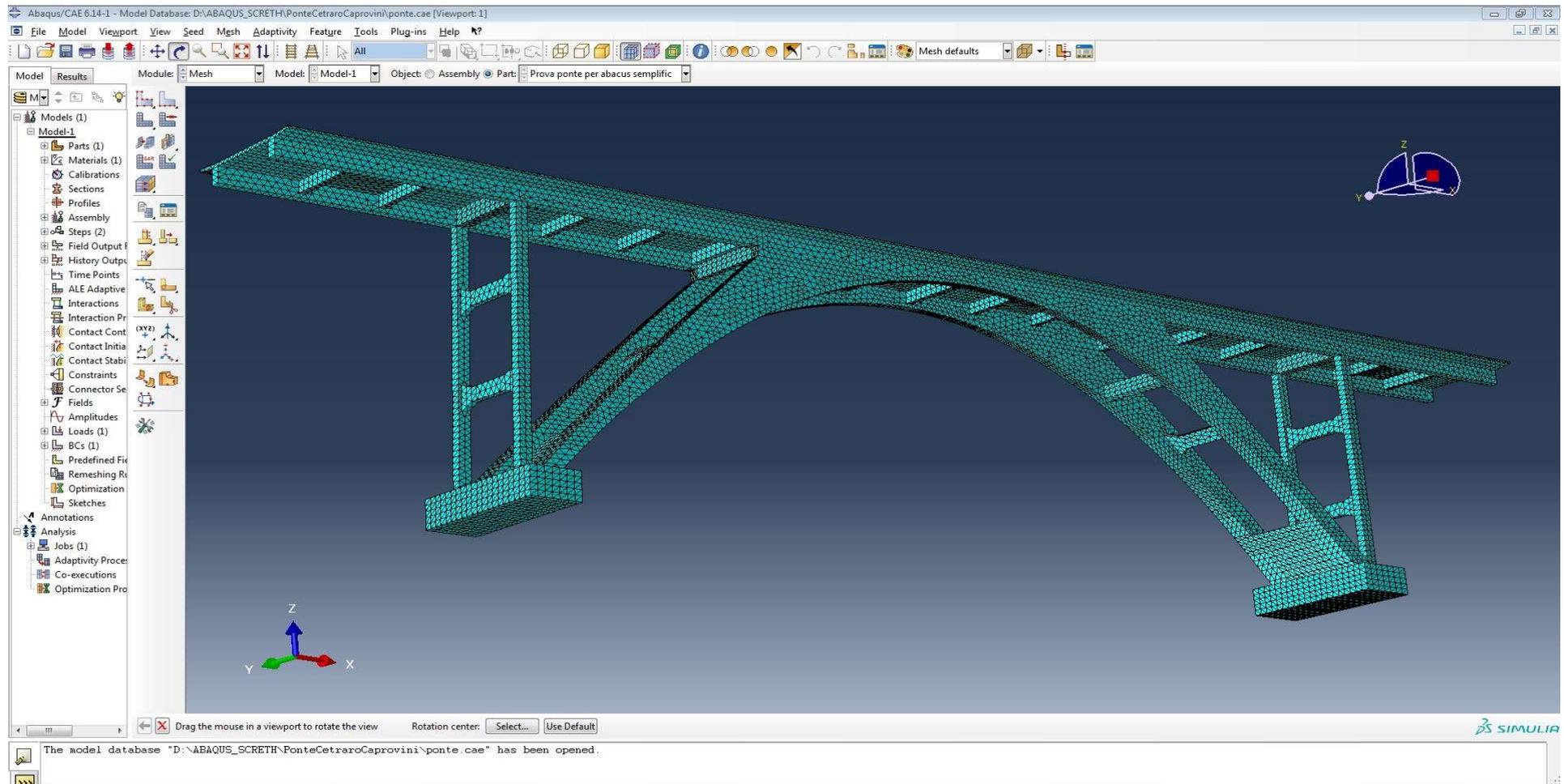


**SCOSTAMENTI IN GENERE DI ORDINE CENTIMETRICO, RIENTRANTI NELLE TOLLERANZE DI LAVORAZIONE PER QUESTO GENERE DI STRUTTURE GETTATE IN OPERA**

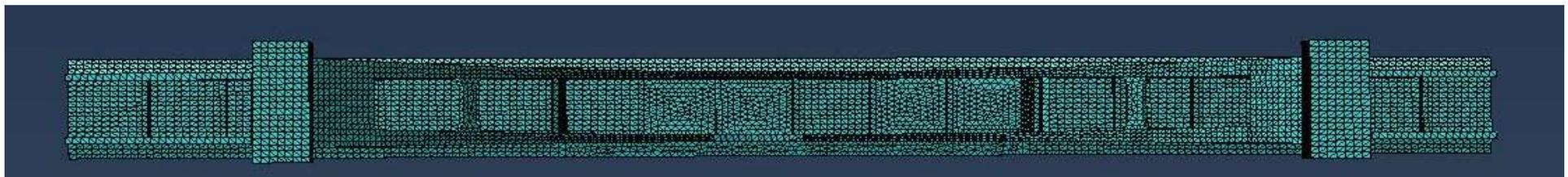


Deviazioni 3D  
Max +/-: 0.668/-0.372 m  
Media +/-: 0.084/-0.045 m  
Deviazione Standard: 0.078 m

**DEVIAZIONI MASSIMA E MINIMA IN  
CORRISPONDENZA DI DEGRADO E  
DISTACCHI DI MATERIALE**

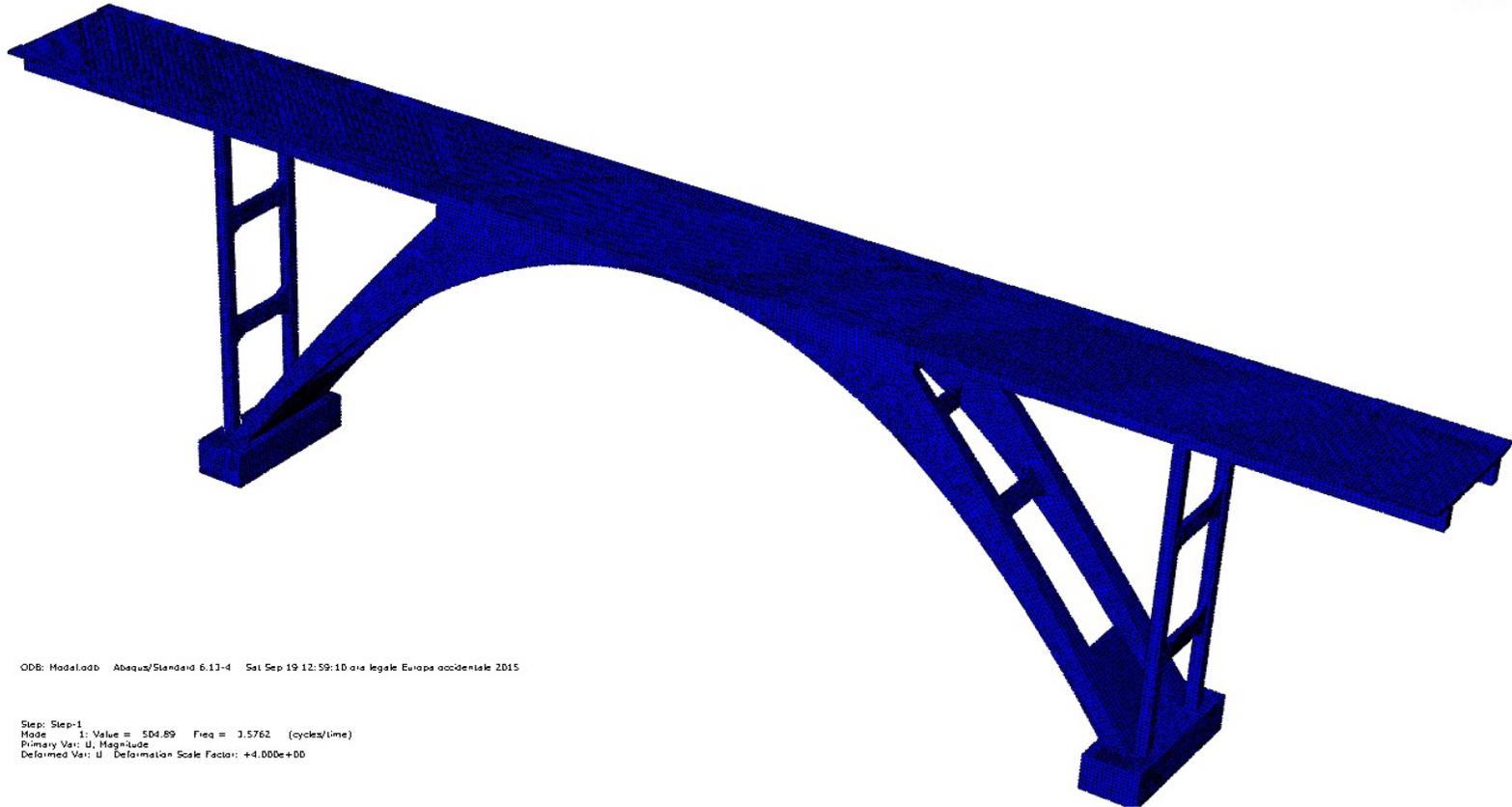
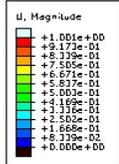


**MODELLO AD ELEMENTI FINITI (FEM) ED ANALIZZATO TRAMITE IL SOFTWARE DI ANALISI STRUTTURALE ABAQUS®**



# PONTE CAPROVIDI

SCALE FACTOR: 10.00



ODB: Model.odb Abaqus/Standard 6.13-4 Sat Sep 19 12:59:10 ora legale Europa occidentale 2015

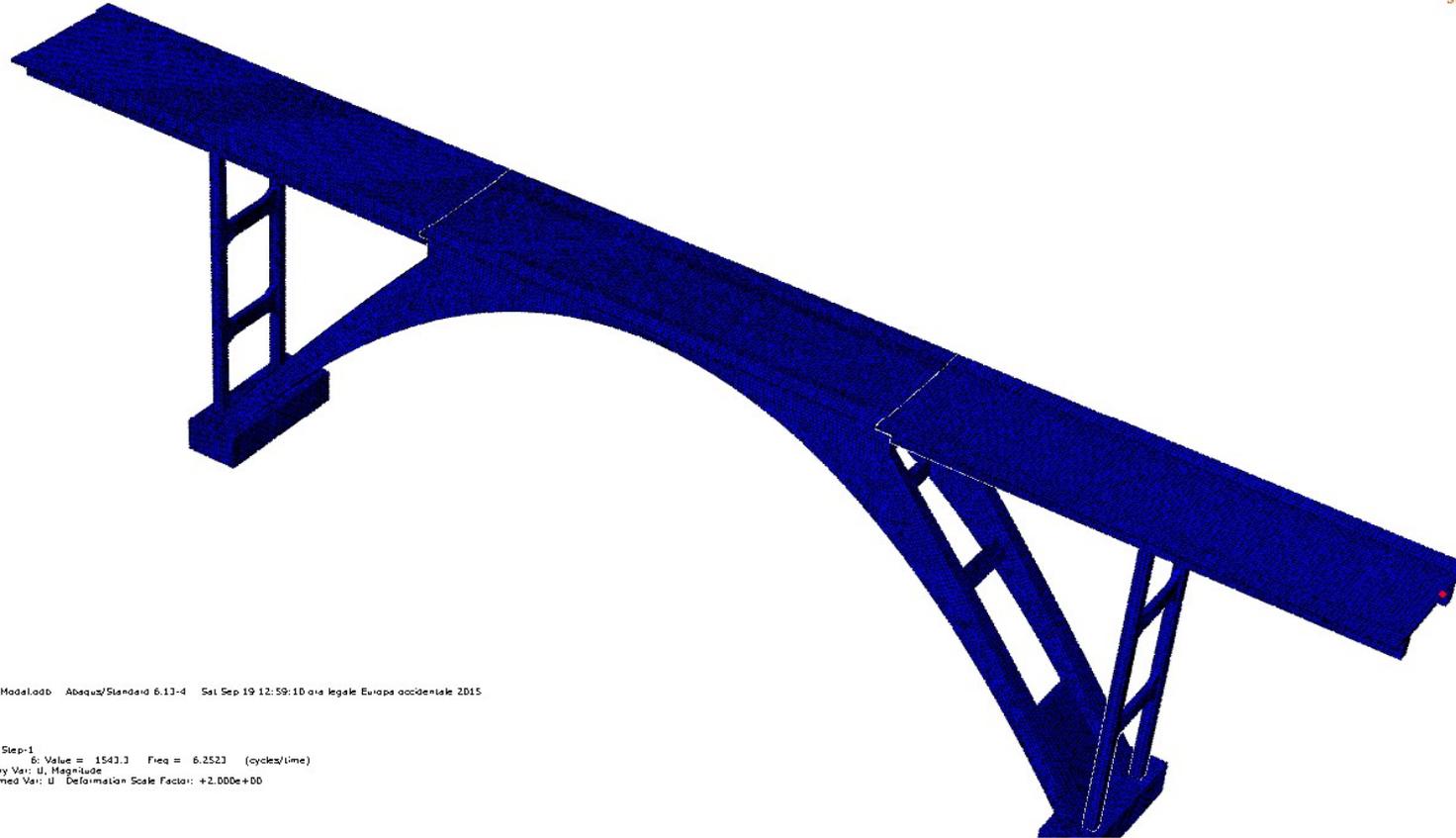
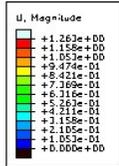


Step: Step-1  
Mode: 1: Value = 504.89 Freq = 3.5762 (cycles/time)  
Primary Var: U, Magnitude  
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +4.000e+00

**INDIVIDUAZIONE DEI MODI DI VIBRARE REALI DELLA STRUTTURA  
SOTTOPOSTA A RUMORI AMBIENTALI E SOLLECITAZIONI NON  
CONTROLLATE (FDD): MODO 1**

# PONTE CAPROVIDI

SCALE FACTOR: 10.00



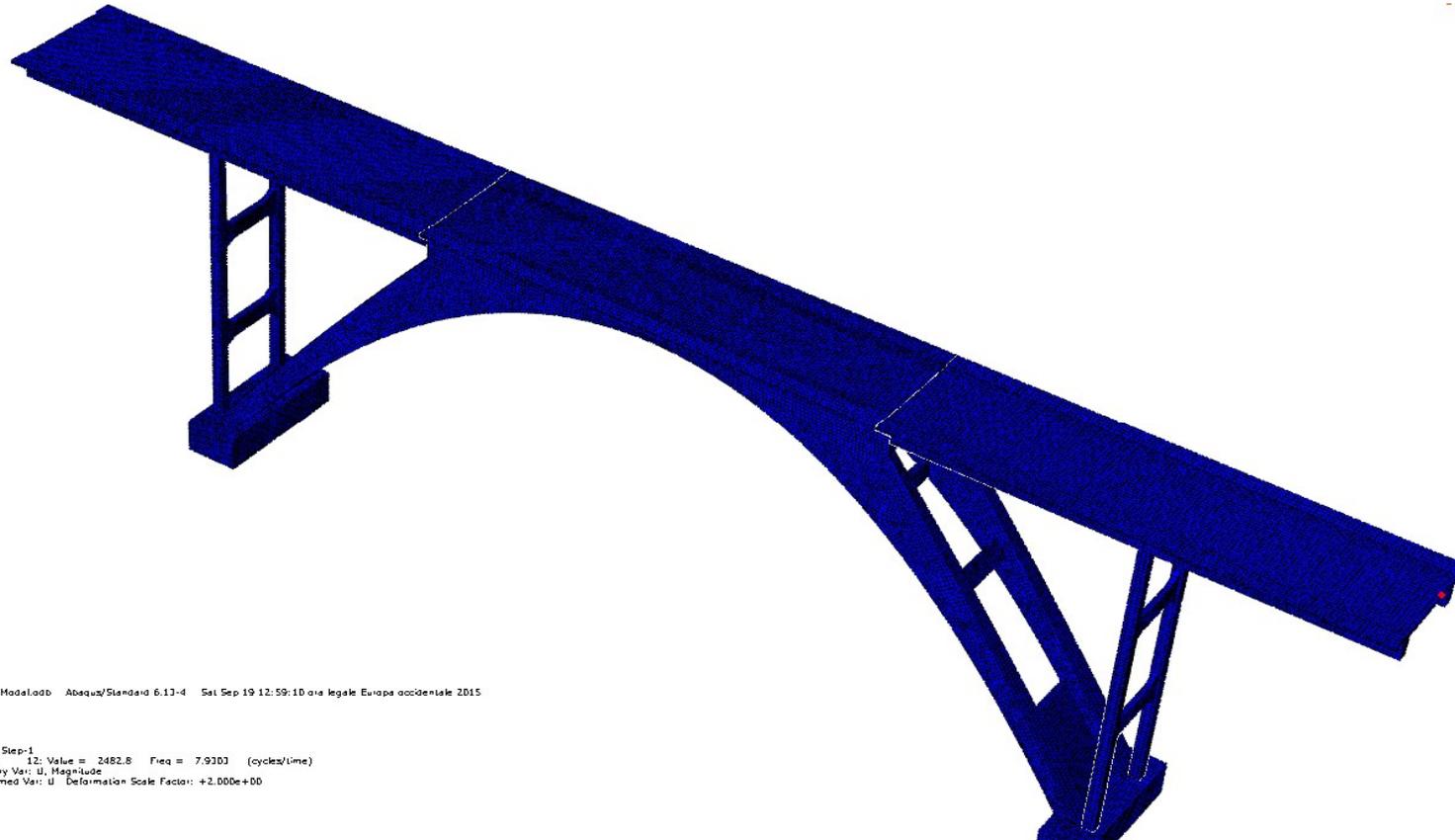
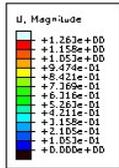
ODB: Model.odb Abaqus/Standard 6.13-4 Sat Sep 19 12:59:10 oia legale Europa occidentale 2015



Step: Step-1  
Mode: 6, Value = 1543.3 Freq = 6.2523 (cycles/time)  
Primary Var: U, Magnitude  
Deformed Var: U, Deformation Scale Factor: +2.000e+00

**INDIVIDUAZIONE DEI MODI DI VIBRARE REALI DELLA STRUTTURA  
SOTTOPOSTA A RUMORI AMBIENTALI E SOLLECITAZIONI NON  
CONTROLLATE (FDD): MODO 2**

# PONTE CAPROVIDI



ODB: Modal.odb Abaqus/Standard 6.13-4 Sat Sep 19 12:59:10 ora legale Europa occidentale 2015



Step: Step-1  
Mode: 12; Value = 2482.8 Freq = 7.9303 (cycles/time)  
Primary Var: U, Magnitude  
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +2.000e+00

**INDIVIDUAZIONE DEI MODI DI VIBRARE REALI DELLA STRUTTURA  
SOTTOPOSTA A RUMORI AMBIENTALI E SOLLECITAZIONI NON  
CONTROLLATE (FDD): MODO 3**

LAVORI



RILIEVO RAPPRESENTAZIONE E MODELLAZIONE  
DI PONTI ANTICHI E MODERNI

## OPERAZIONI DI RILIEVO

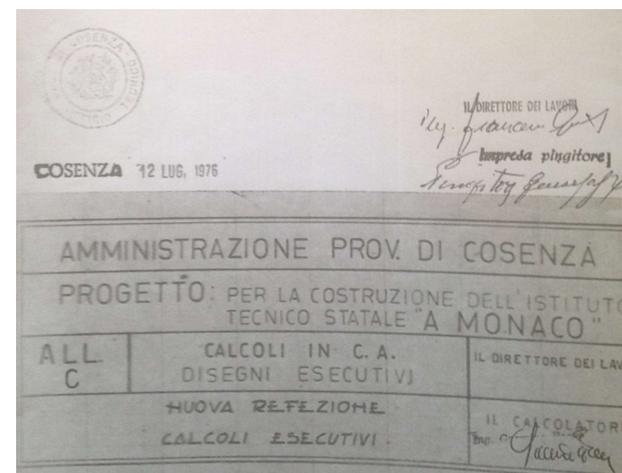


RILIEVO METRICO  
Distanziometro Laser  
D8 Leica

RILIEVO FOTOGRAFICO  
Fotocamera Digitale  
Nikon D3200



REPERIMENTO DEI DISEGNI ORIGINALI  
Progetto Esecutivo Auditorium  
1976



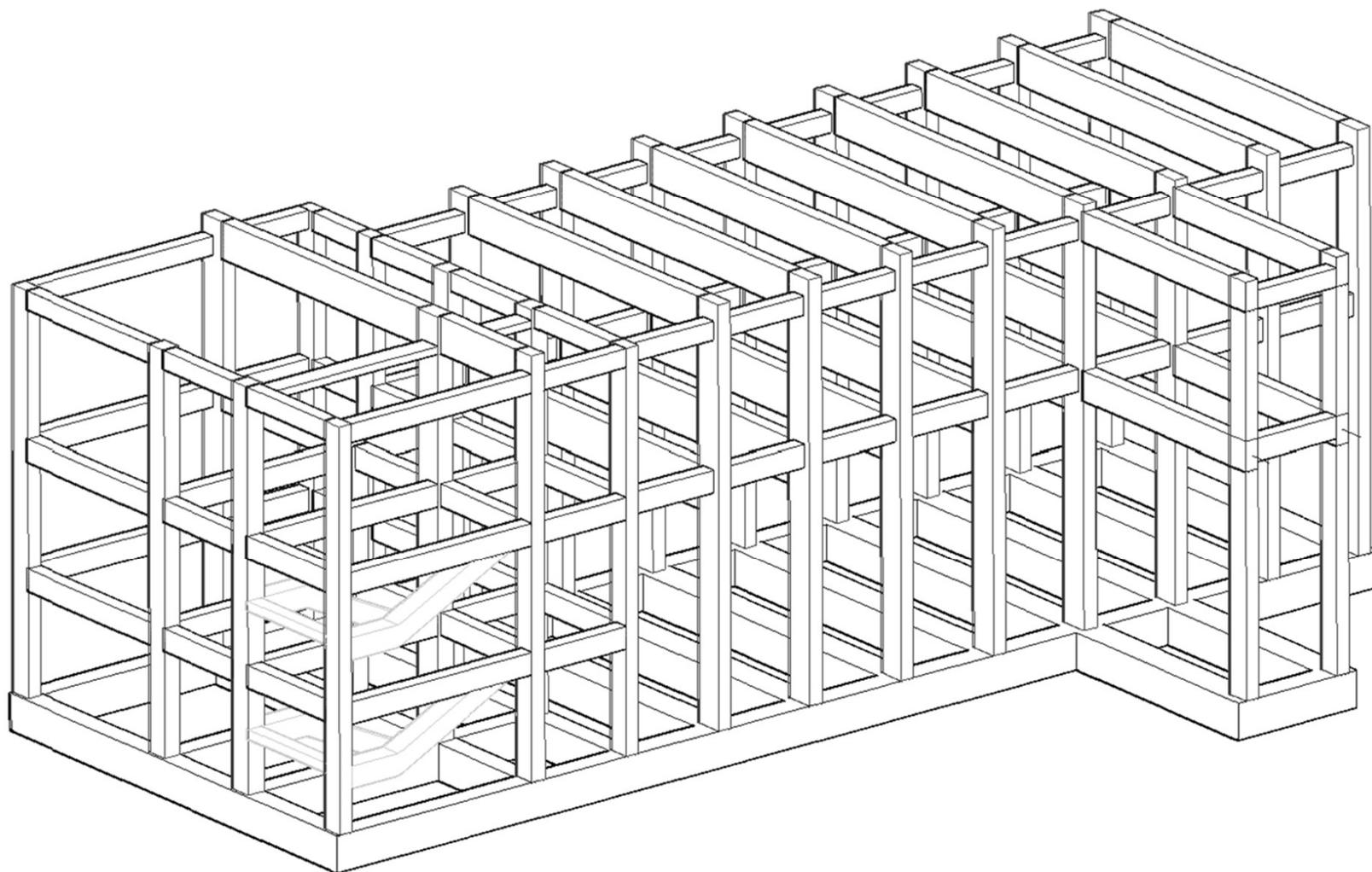




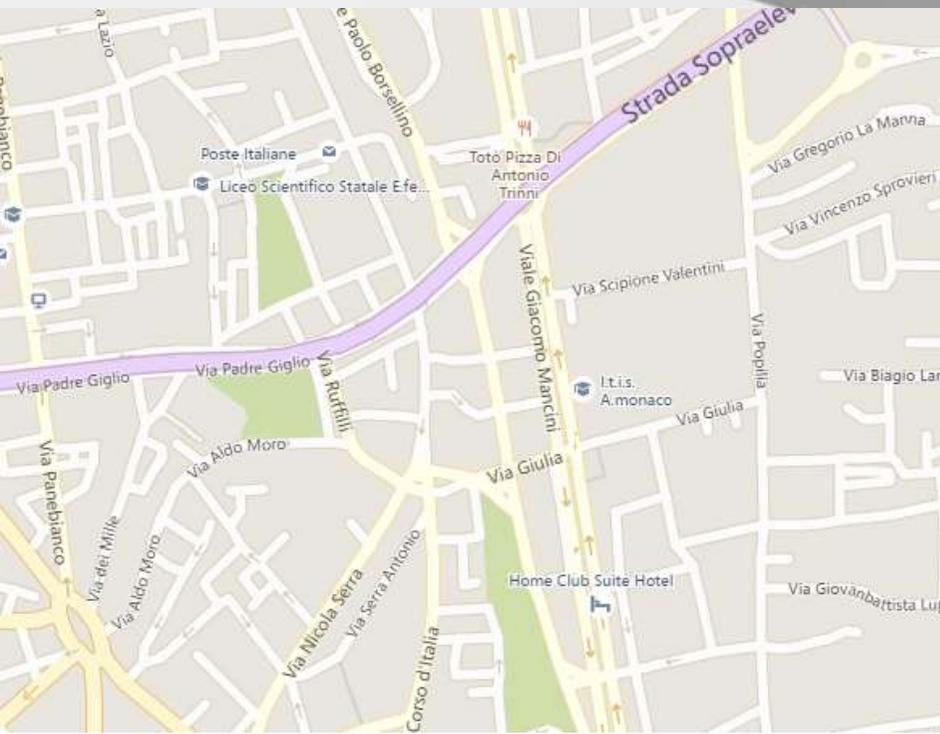
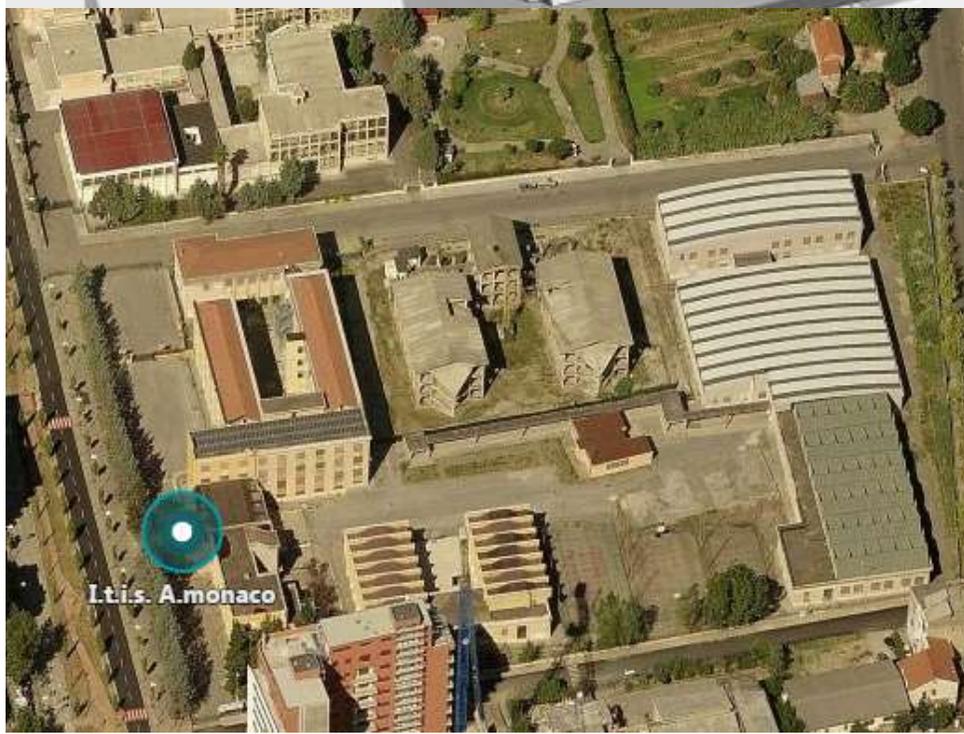
## REALIZZAZIONE MODELLO 3D



# REALIZZAZIONE MODELLO 3D STRUTTURALE



# INSERIMENTO DEL MODELLO 3D NEL TESSUTO URBANO



## INDAGINI NON DISTRUTTIVE



Cls lievemente carbonatato

- - PH < 8.5 – 9.5
- - PH > 8.5 – 9.5

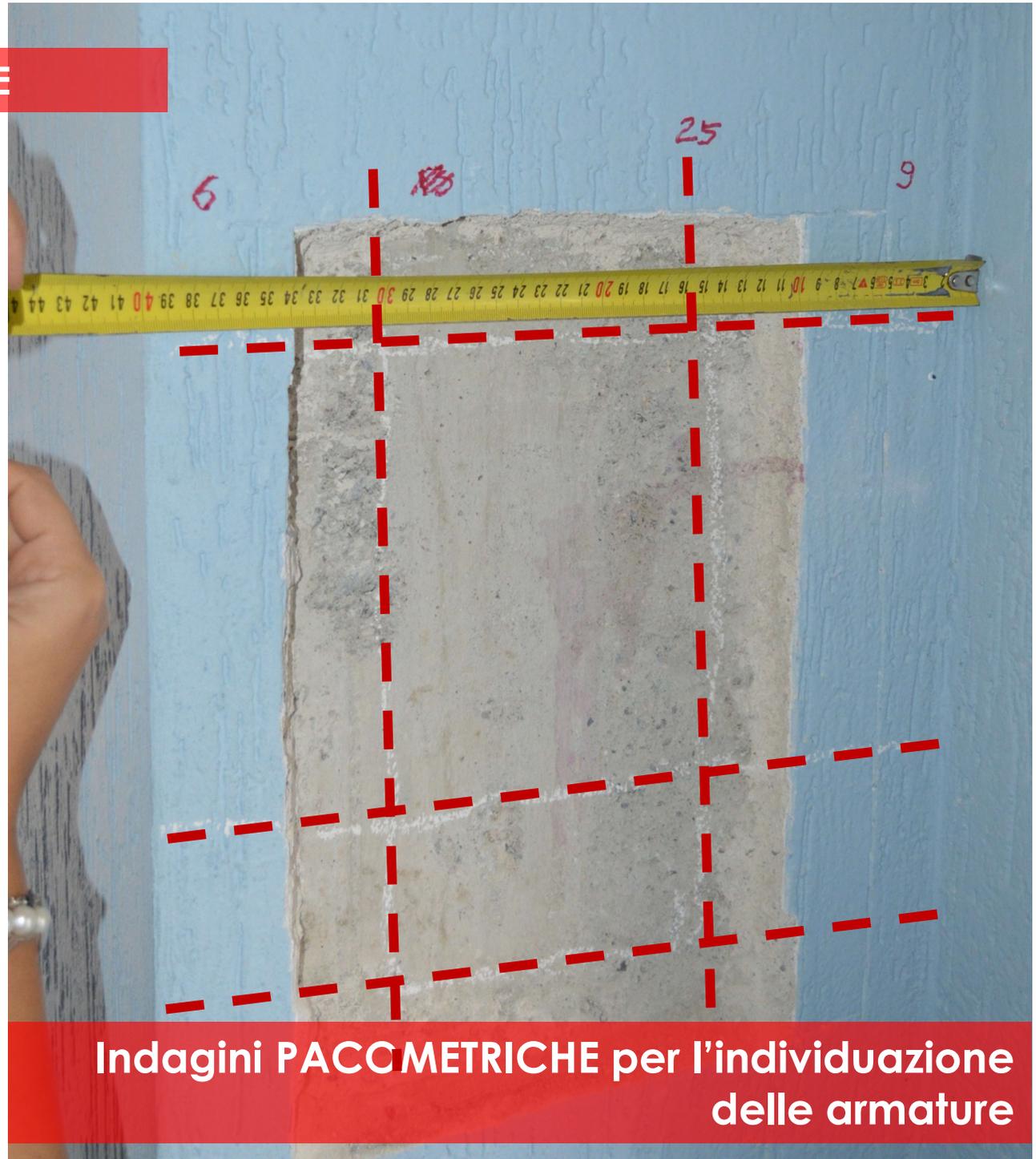


Verifica della CARBONATAZIONE del cls:  
Rimozione intonaco – Levigatura superficie – Prova alla fenolftaleina

## INDAGINI NON DISTRUTTIVE



Pacometro Proceq



Indagini PACCOMETRICHE per l'individuazione delle armature

## INDAGINI NON DISTRUTTIVE

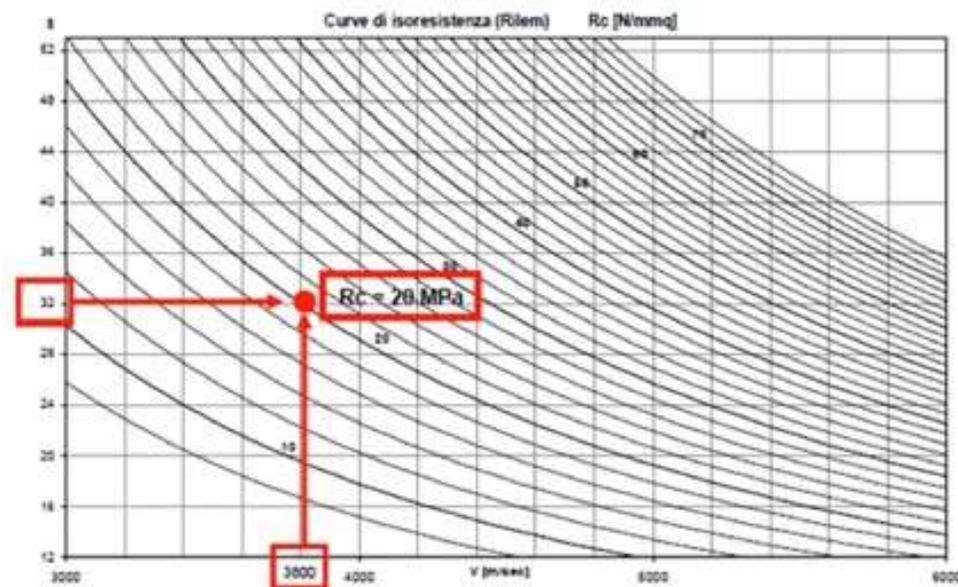
Sclerometro  
*Ectha1000 DRC*



**Indagini SCLEROMETRICHE:**  
Griglia di punti con dima di misura - Test funzionamento e  
Verifica calibrazione - battute sclerometriche

# INDAGINI NON DISTRUTTIVE

## Ultrasuoni BOVIAR e Sclerometro DRC



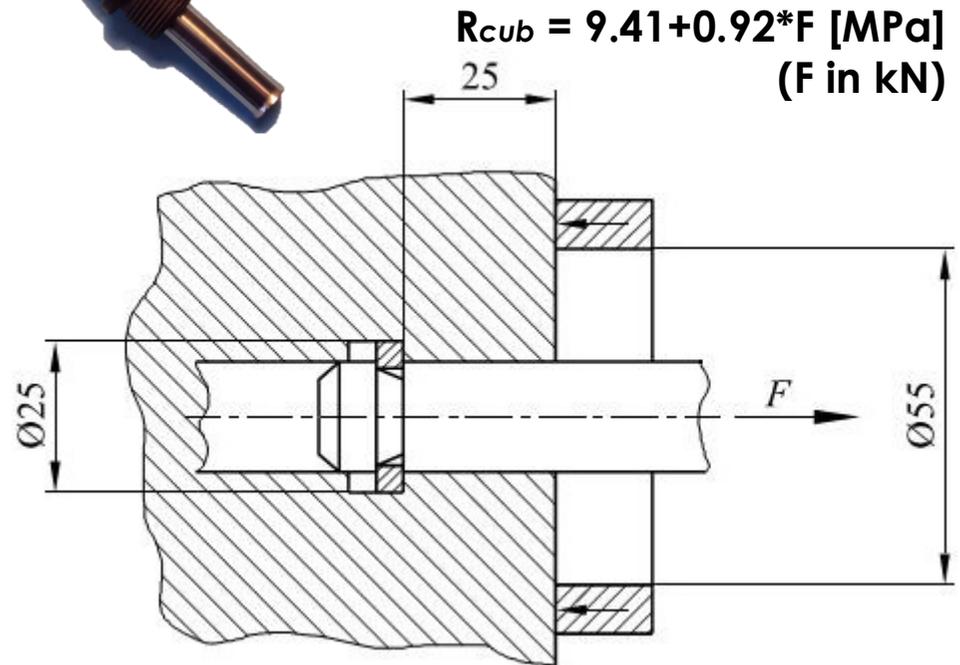
**Il metodo SONREB(SONic & REBound):  
Indagini combinate ULTRASONICHE e SCLEROMETRICHE**

# INDAGINI NON DISTRUTTIVE

## Attrezzatura pull-out BOVIAR



tassello post-inserito Thoro



**Prove di PULL-OUT:**  
Determinazione della forza di estrazione di un inserto post-inserito nel calcestruzzo indurito

## INDAGINE SISMICA



**Caratterizzazione Sismica dei terreni di fondazione:  
Determinazione Velocità Sismica nei primi 30 m di profondità**

## STRUMENTAZIONE NECESSARIA PER IL DIMOSTRATORE

# Modellazione FEM mediante software commerciale Abaqus

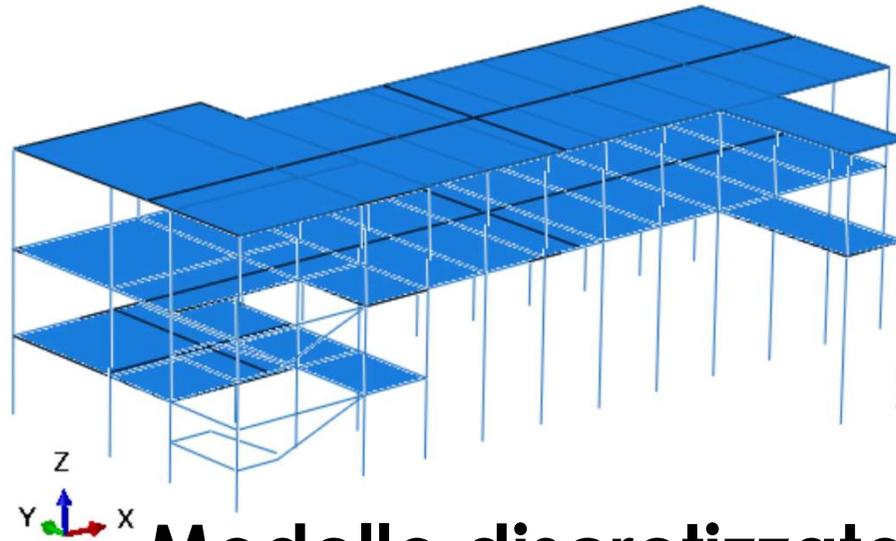
### Ipotesi di modellazione:

- **Materiale omogeneo isotropo** per il calcestruzzo:  
 $E = 250000 \text{ kg/cm}^2$  ,  $\nu = 0.27$   
 $\gamma_{cls} = 2500 \text{ kg/m}^3$
- **Elementi Strutturali:**  
Elementi monodimensionali, tipo **beam**, per la modellazione di travi e pilastri;  
Elementi bidimensionali, tipo **shell**, per la modellazione dei soali;
- **Condizioni al contorno:** telaio incastrato alla base e piastre soggette a carico di superficie.

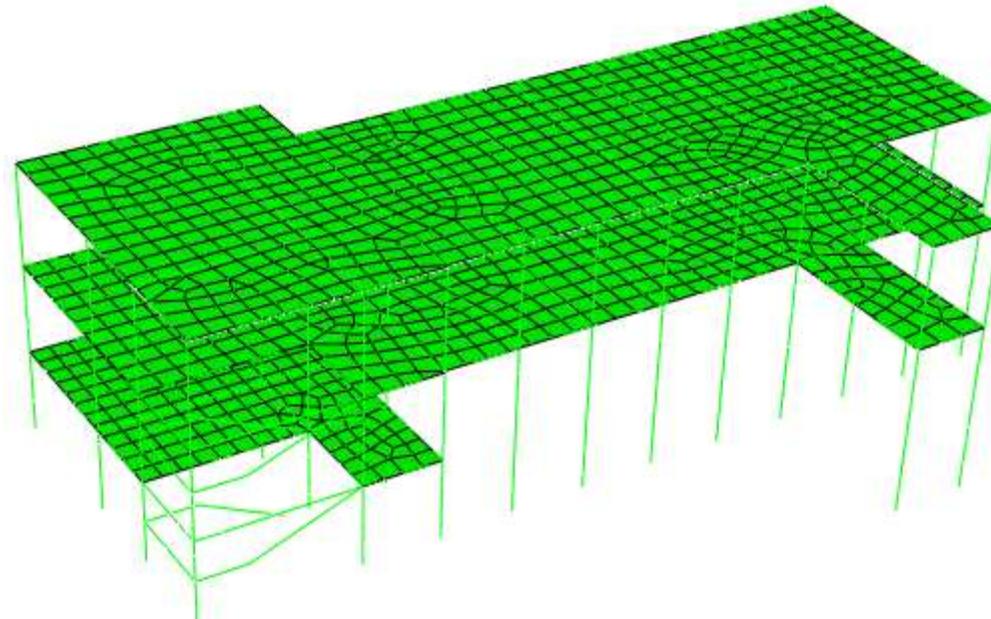
### Simulazioni effettuate:

- **Analisi Statica** (lineare);
- **Analisi di Frequenza** (lineare);
- **Analisi dinamica** (non lineare);

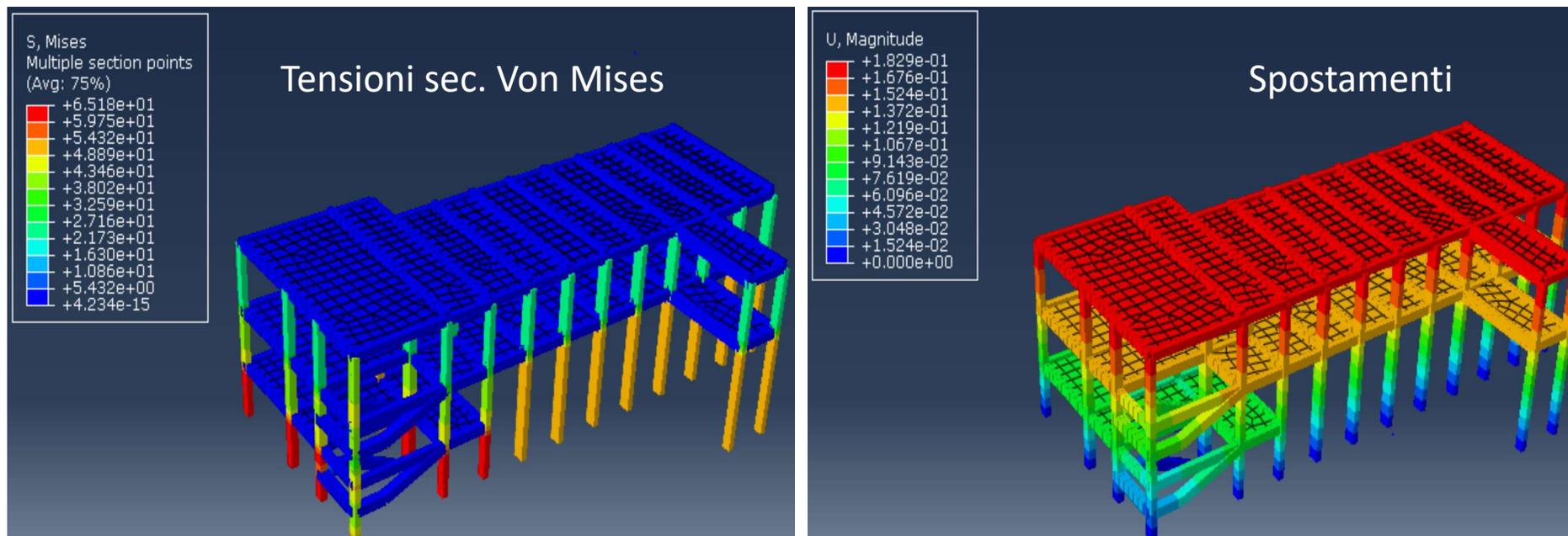
## Input geometria



## Modello discretizzato



## Analisi Elastica

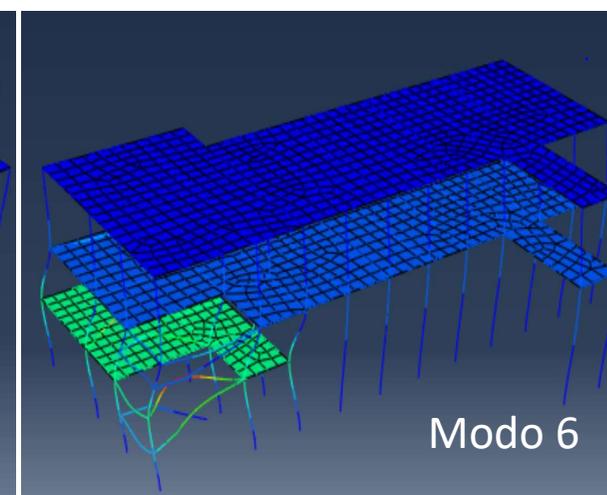
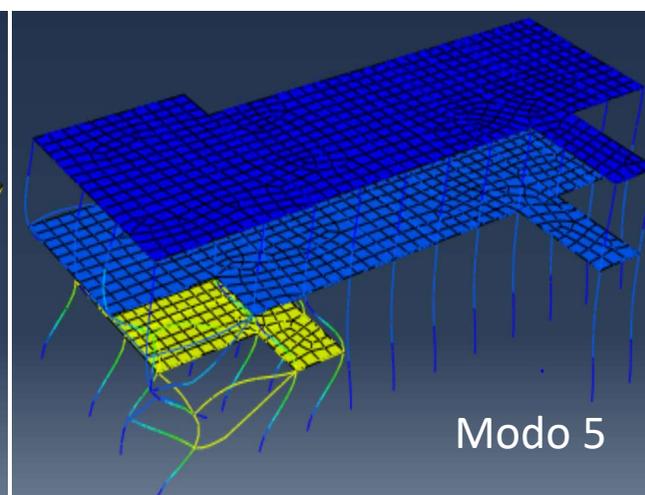
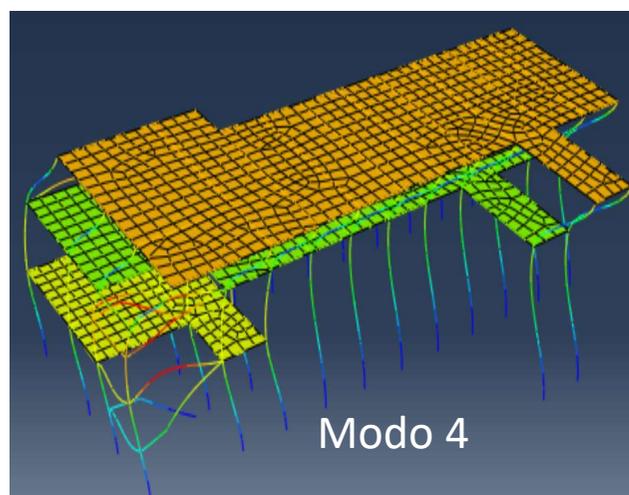
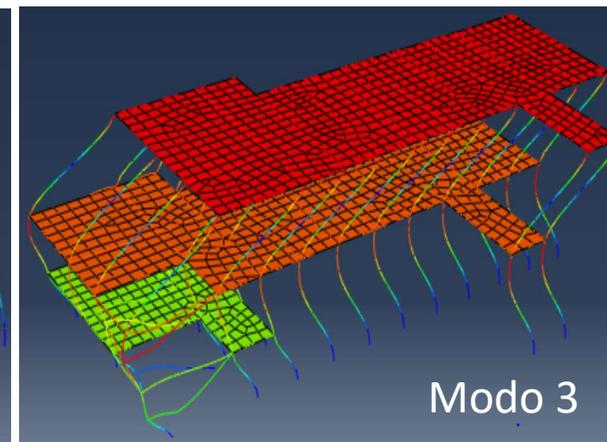
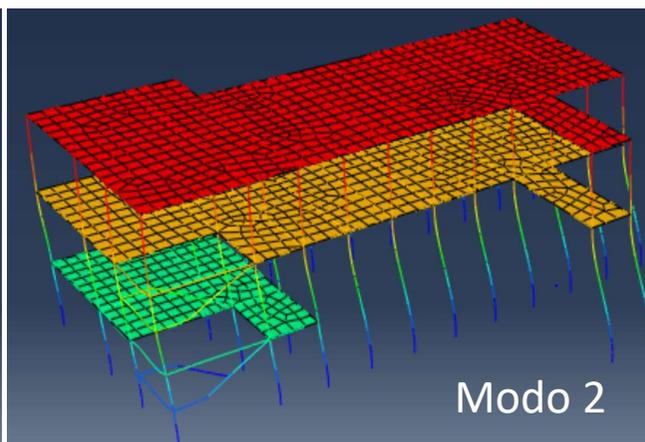
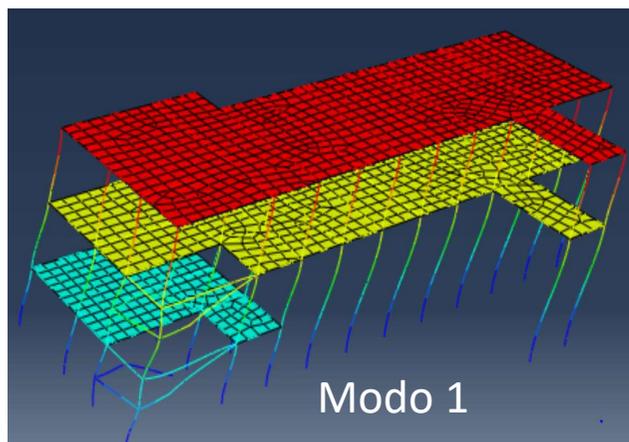


Sulla base dell'analisi elastica, oltre ai risultati in termini di tensioni e spostamenti, sono state anche tarati i seguenti aspetti:

- Dimensione e ricchezza dell'elemento finito;
- Link tra le travi di bordo e i solai.

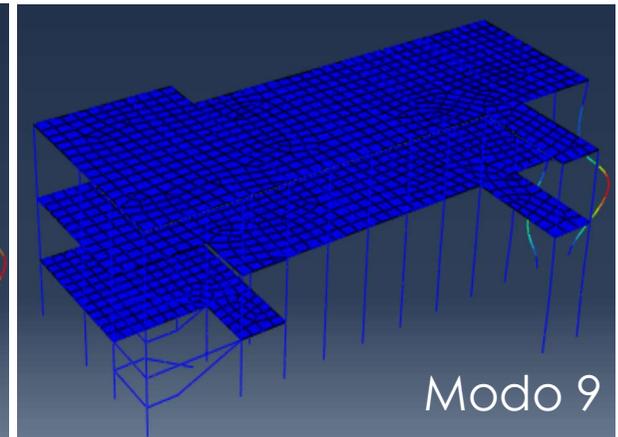
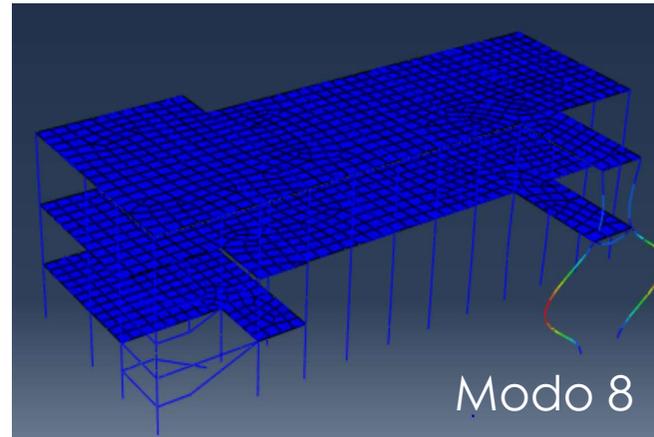
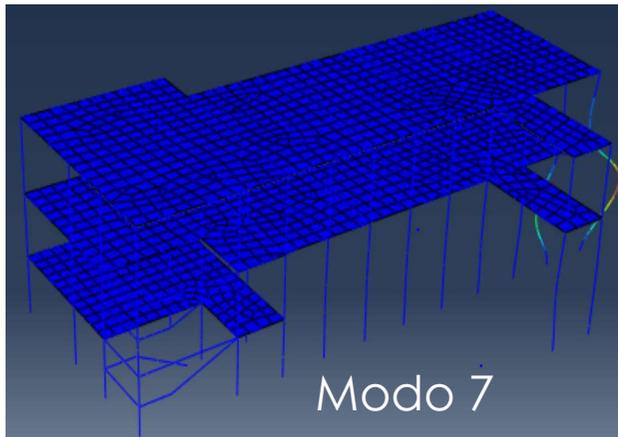
## Analisi di Frequenza

- Problema algebrico:  $\mathbf{M}(\ddot{\mathbf{u}}) + \mathbf{K}(\mathbf{u}) = \mathbf{0}$ ;
- Come output si considerano solo i modi di vibrare "significativi";



## Analisi di Frequenza

- Problema algebrico:  $\mathbf{M}(\ddot{\mathbf{u}}) + \mathbf{K}(\mathbf{u}) = \mathbf{0}$ ;
- Come output si considerano solo i modi di vibrare "significativi";

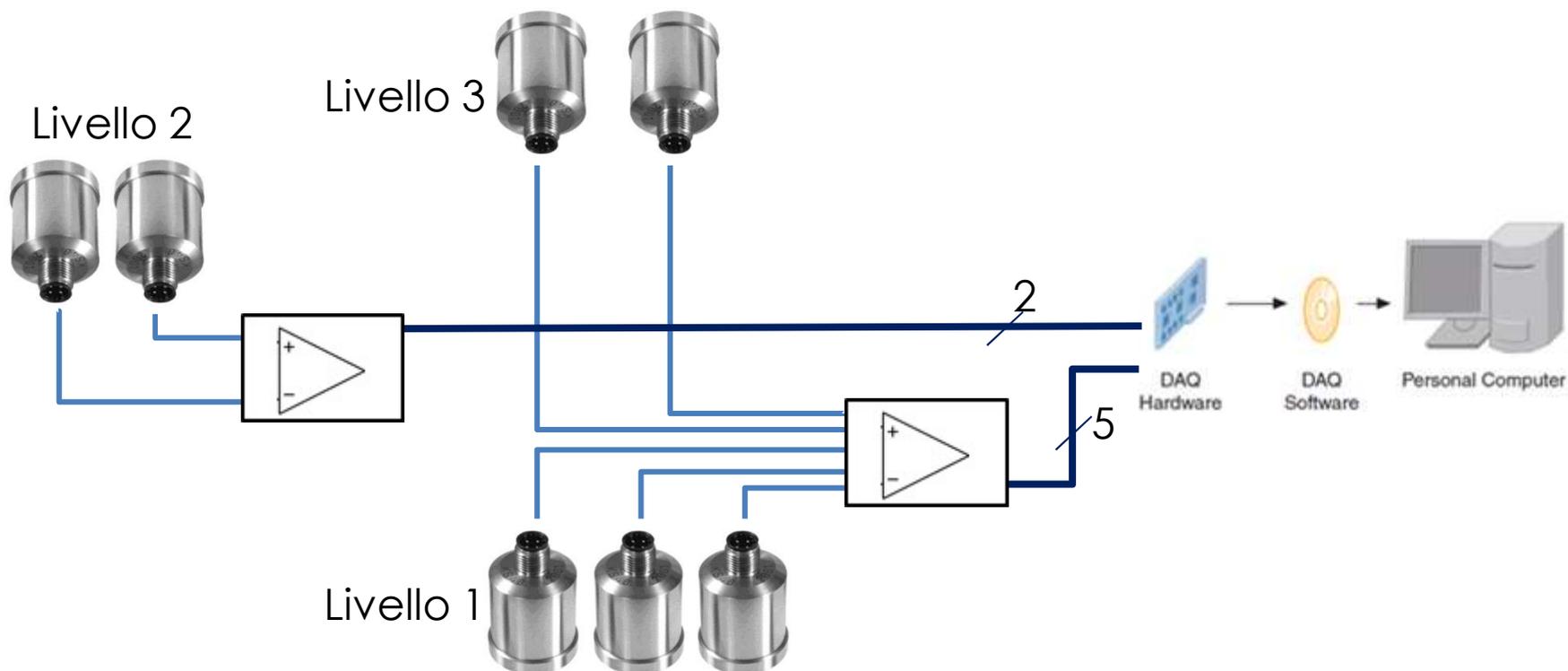


| $\lambda$ | 1     | 2     | 3     | 4     | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      |
|-----------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
|           | 0.359 | 0.636 | 2.806 | 7.810 | 11.975 | 16.655 | 25.500 | 25.836 | 26.245 |

Oss.: al crescere dell'autovalore, il modo ha un carattere sempre più locale.

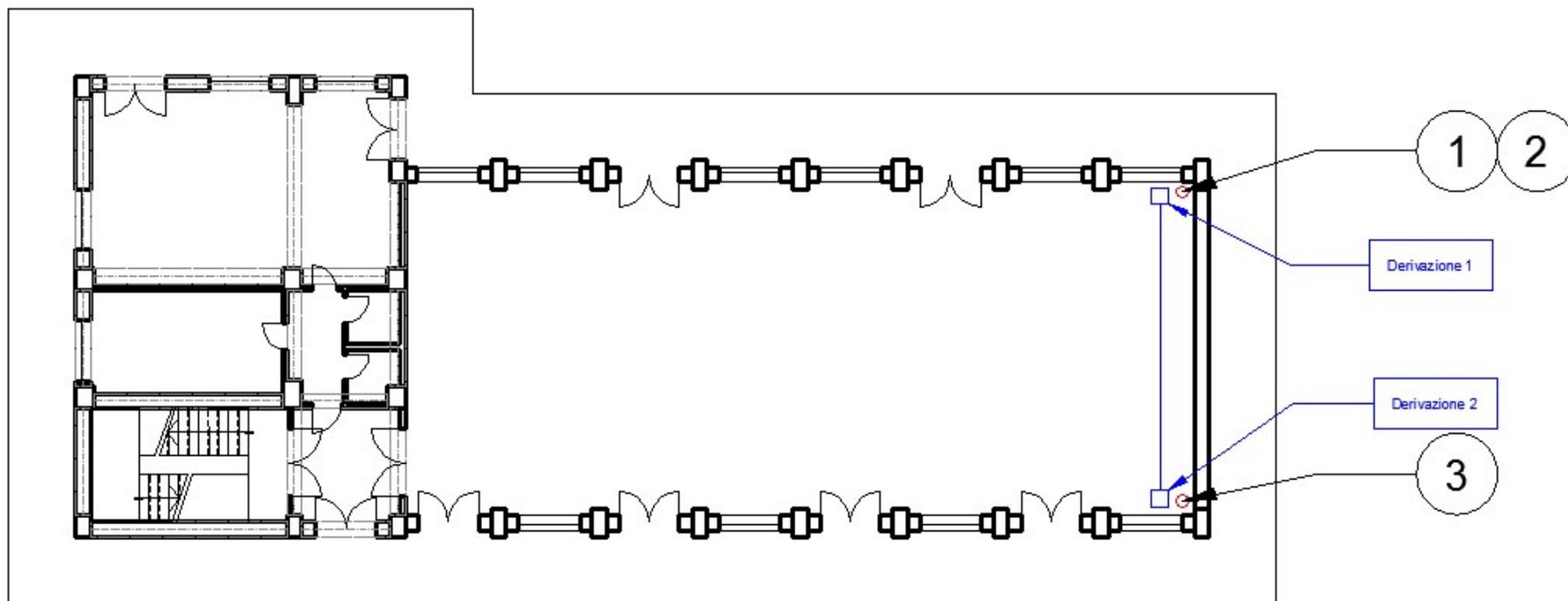


## LETTURA DATI SENSORI



Ogni accelerometro dislocato nella struttura invia i propri segnali ad un sistema di acquisizione dati. Per ogni sensore è presente una linea realizzata con cavo coassiale (RG59), adatto al trasferimento di informazioni in analogico.

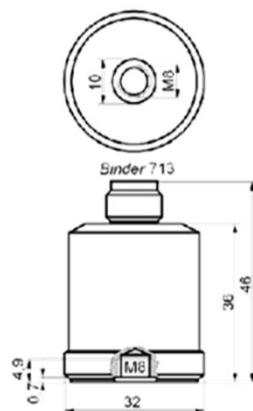
## UBICAZIONE SENSORI



**Accelerometri DRC  
ad elevata sensibilità**

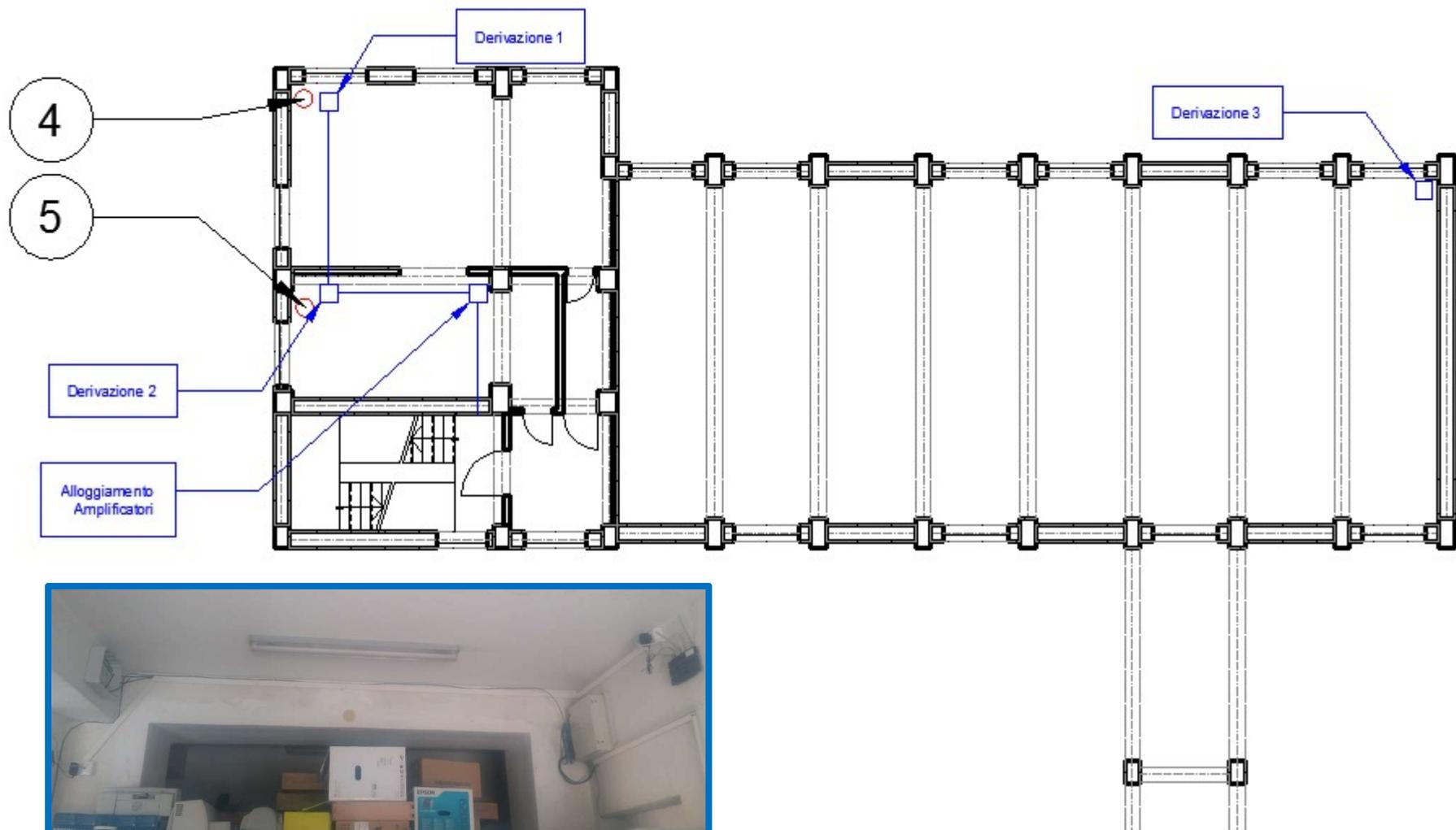


KS48C



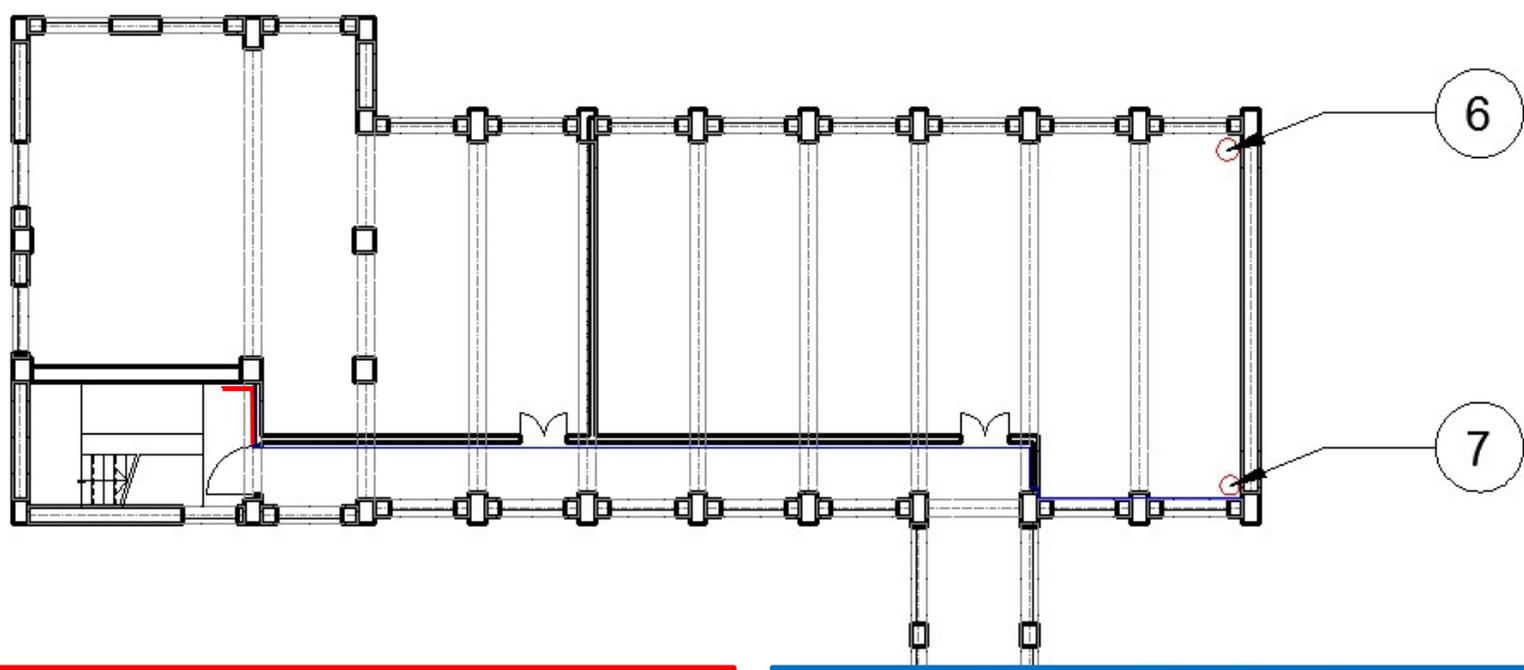
**Livello 1**

## UBICAZIONE SENSORI



Livello 2

# UBICAZIONE SENSORI



Livello 3

## RISULTATI OTTENUTI

- **Analisi dello stato di degrado dei prospetti e degli ambienti interni**
- **Analisi dello stato di salute delle strutture mediante prove non distruttive (pacometro, sclerometro, ecc...) e tramite l'installazione di una rete accelerometrica**
- **Implementazione di un server tcp-ip per la raccolta di sensori multipli appartenenti alla stessa rete, che genera un virtual object per ogni sensore connesso**