

# COMUNE DI BELLANO

PROVINCIA DI LECCO

PROGETTO DEFINITIVO PER LO SVILUPPO ARCHITETTONICO DI UNO SPAZIO  
ESPOSITIVO E MUSEALE ALL'INTERNO DELLA EX CHIESA DI  
SAN NICOLAO DI BELLANO, ACCOMPAGNATO DA UN PROGETTO DI  
RISANAMENTO CONSERVATIVO DELL'EDIFICIO STESSO.

## PROGETTO ESECUTIVO

- all.1 \_ Relazione generale e Quadro economico;
- all.2 \_ Relazione geologica-geotecnica;
- all.3 \_ Relazione di restauro conservativo
- all.4 \_ Relazione strutturale e calcoli delle strutture**
- all.5 \_ Elaborati Grafici
- all.6 \_ Studio di impatto ambientale
- all.7 \_ Capitolato speciale d'appalto e disciplinare descrittivo-prestazionale
- all.8 \_ censimento e risoluzione interferenze
- all.9 \_ elenco prezzi unitari
- all.10 \_ computo metrico estimativo
- all.11 \_ Piano di sicurezza e di coordinamento D.Lgs 81/2008 e ss. mm.
- all.12 \_ Fascicolo dell'opera D.Lgs 81/2008 e ss. mm.
- all.13 \_ Piano di manutenzione dell'opera
- all.14 \_ Cronoprogramma

IL PROGETTISTA:  
**Arch. ROCCO VITALI**

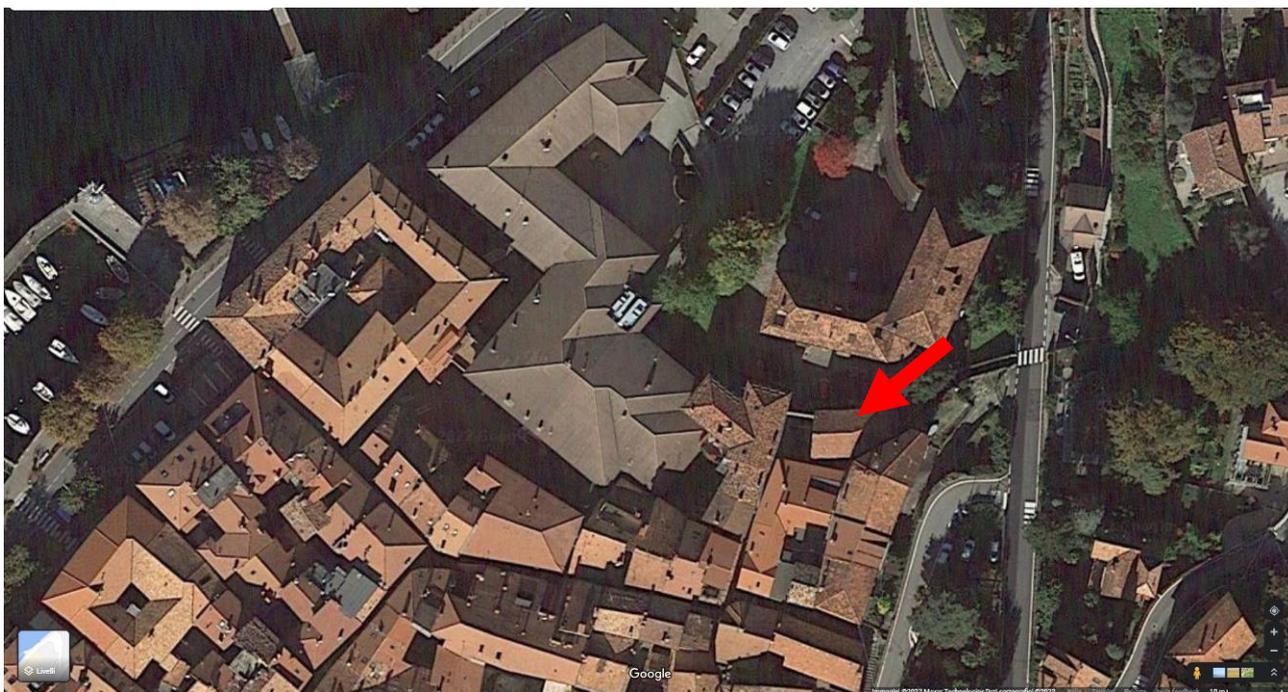
via Lecco 5 - 23822 Bellano (Lecco)  
tel. 3401598145 - email: rocco.vitali@archiworldpec.it  
iscritto all'Ordine degli architetti della prov. di Lecco al n. 1185  
c.f. VTLRCC91H13A745I - p.IVA 03848410134

VITALI  
STUDIO



**Provincia di LECCO  
COMUNE DI BELLANO**

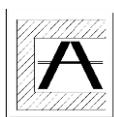
**COMUNE DI BELLANO (LC)  
PROGETTO ESECUTIVO - LAVORI DI RESTAURO E RISANAMENTO  
CONSERVATIVO DELL'EX CHIESA DI S.NICOLAO A BELLANO (LC)**



## **DOC.01 RELAZIONE DI ILLUSTRATIVA E DI CALCOLO**

*A SEGUITO DELLE PRESCRIZIONI CONTENUTE NELL'AUTORIZZAZIONE AI SENSI DELL'ART. 21 E PARERE AI SENSI DELL'ART. 146 DEL D. LGS 22 GENNAIO 2004, N. 42 SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO COMO, LECCO, MONZA E BRIANZA, PAVIA, SONDRIO E VARESE RIF. NOTA PROT. N 5099 DEL 19/04/2023 NS. PROT. N 9942 DEL 19/04/2023*

Ing. Christian Amigoni  
VERS. 07/06/2023



STUDIO DI INGEGNERIA AMIGONI  
Via Mazzini, n. 2 - Tel. 0341-645288 - 23801 Calolziocorte (LC)

[www.studioamigoni.com](http://www.studioamigoni.com)

## INDICE

CAP.1 RELAZIONE ILLUSTRATIVA E DI CALCOLO	3
1.1 Oggetto	3
CAP.2 ANALISI DELLO STATO DI FATTO	11
2.1 Inquadramento normativo	11
2.2 Definizione del modello di riferimento per le analisi	11
2.2.1 Analisi stato di fatto e rilievo fotografico	11
2.2.2 Caratterizzazione meccanica dei materiali	22
2.2.3 Livelli di conoscenza e fattori di confidenza	22
2.2.4 Analisi dei carichi	22
2.2.5 Relazione sui materiali (SDF)	22
CAP.3 ANALISI DELLO STATO DI PROGETTO	23
3.1 Descrizione intervento	23
3.2 Riferimenti normativi	23
3.3 Relazione sui materiali (SDP)	23
3.4 Analisi dei carichi	24
3.5 Verifica singoli elementi tecnici	24
3.6 Modellazione globale ante e post operam	33
3.7 Conclusioni	35

## CAP.1 RELAZIONE ILLUSTRATIVA E DI CALCOLO

### 1.1 Oggetto

La presente relazione è relativa alla verifica strutturale degli interventi locali, secondo le NTC2018, previsti nell'intervento di realizzazione di nuovo impalcato all'interno dell'ex Chiesa di S. Nicolao a Bellano (LC) nel corso dell'intervento di restauro e risanamento conservativo progettato dallo Studio Vitali di Lecco, cui il presente progetto è coerente.

L'intervento prevede dal punto di vista architettonico la riorganizzazione degli allestimenti degli spazi interni; dal punto di vista strutturale è previsto la realizzazione di un solaio soppalcato costituito da putrelle d'acciaio S275 e assito ligneo (rif. Elaborati grafici). È prevista anche la realizzazione di una scala in acciaio, per la quale si rimanda al progetto esecutivo. L'intervento prevedrebbe inoltre l'installazione di una catena dell'arco del coro mediante perforazione armata e capochiavi esterni, visto il quadro fessurativo dell'arco e della volta a crociera soprastante; tuttavia stante la prescrizione progettuale dell'autorizzazione della Soprintendenza, non si prevede installazione di incatenamenti in corrispondenza dell'arco in oggetto come illustrato nel progetto. Si prevede l'installazione di capochiavi sulle travi del soppalco in corrispondenza dell'arco. In fase esecutiva saranno sviluppati i dettagli per l'interferenza tra trave in legno esistente e soppalco.

Non è oggetto della presente attività di progettazione definitiva, la valutazione materica e diagnostica, nonché della vulnerabilità statica e sismica globale del fabbricato, che saranno oggetto di approfondimento nel corso della progettazione esecutiva. Ai soli fini della valutazione dell'intervento di installazione dell'impalcato d'acciaio si propone una valutazione di vulnerabilità sismica ante e post operam per dimostrare che l'intervento di installazione dell'impalcato d'acciaio non determina una modifica del comportamento globale considerando la modesta massa che lo costituisce; dal punto di vista locale si determina un miglioramento per effetto dell'incatenamento delle murature create dalle travi del soppalco. Per le verifiche della scala e dei parapetti si rimanda all'esecutivo d'officina.

La posizione delle travi nelle tavole di progetto è da intendersi indicativo poiché il tracciamento esecutivo dovrà essere eseguito in sito con il direttore lavori strutturale.

Considerando che si tratta di un intervento su edificio esistente vincolato, le dimensioni esatte delle fondazioni dovranno essere confermate in fase di direzione lavori con sondaggi specifici che consentiranno di rilevare l'effettiva configurazione del terreno nelle zone di appoggio delle colonne anche in relazione al basso contributo di sforo effettuato dalla nuova struttura di soppalco.

La presente relazione è stata sviluppata in seguito alle prescrizioni riportate *NELL'AUTORIZZAZIONE AI SENSI DELL'ART. 21 E PARERE AI SENSI DELL'ART. 146 DEL D. LGS 22 GENNAIO 2004, N. 42 SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO COMO, LECCO, MONZA E BRIANZA, PAVIA, SONDRIO E VARESE RIF. NOTA PROT. N 5099 DEL 19/04/2023 NS. PROT. N 9942 DEL 19/04/2023* con riferimento agli interventi locali, secondo le NTC2018, previsti nell'intervento di realizzazione di nuovo impalcato all'interno dell'ex Chiesa di S. Nicolao a Bellano (LC) nel corso dell'intervento di restauro e risanamento conservativo progettato dallo Studio Vitali di Lecco, cui il presente progetto è coerente. Si riporta di seguito il documento della Soprintendenza riportante le richieste di integrazione e ristudio e a seguire le relative risposte.



*Ministero della Cultura*

SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO  
PER LE PROVINCE DI COMO, LECCO, MONZA-BRIANZA,  
PAVIA, SONDRIO E VARESE

*A*

Comune di Bellano  
Via Vittorio Veneto, 23  
23822 BELLANO (LC)

PEC: comune-bellano@legalmail.it

*Class* 34.43.04/12268/2022

*Rif. nota prot. n* 5099 *del* 19/04/2023

*No. prot. n* 9942 *del* 19/04/2023

**OGGETTO: BELLANO (LC) – Chiesa di San Nicolao**  
**Tutela ai sensi del D. L.vo 42/2004 della Parte Seconda, Titolo I – art. 10 e parte Terza, art. 142 comma 1 lettera b)**  
**Restauro e progetto di spazio museale**  
Richiedente: Comune di Bellano  
**Autorizzazione ai sensi dell'art. 21 e parere ai sensi dell'art. 146 del D. Lgs 22 gennaio 2004, n. 42**

Con riferimento alla nota segnata a margine;  
visto l'autorizzazione prot. 2308 del 02/02/2023;  
vista la documentazione allegata all'istanza relativa al recepimento di alcune prescrizioni contenute nella precedente nota sopra richiamata;

Tutto ciò richiamato e premesso, questa Soprintendenza, per quanto di propria competenza, ai sensi dell'art. 21, comma 4 del Decreto Legislativo 22.01.2004, n. 42

#### AUTORIZZA

l'esecuzione delle opere in questione come illustrate nella documentazione allegata nel rispetto delle seguenti prescrizioni:

- si approva la soluzione proposta per il soppalco. Si effettuino sondaggi preliminari sul pavimento per verificare l'appoggio dei profili verticali di sostegno;
- si conferma quanto richiesto in merito al tirante dell'arco da realizzare esternamente all'arco stesso riducendo le perforazioni;
- si sottoponga a approvazione di questo ufficio l'eventuale progetto di strutture permanenti di allestimento di opere;
- si concordino con lo scrivente ufficio eventuali varianti a quanto previsto per copertura

Si mantiene la validità delle prescrizioni della precedente nota non esplicitate nella presente

IL SOPRINTENDENTE  
arch. Giuseppe Stolfi  
Firmato digitalmente ai sensi

Il responsabile dell'istruttoria  
arch. Matteo Sintini, f. architetto



MINISTERO  
DELLA  
CULTURA

SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI  
COMO, LECCO, MONZA E BRIANZA, PAVIA, SONDRIO E VARESE  
Via E. De Amicis 11 - Corso Magenta 24 - 20123 Milano; Tel. 02 89400555 – 02 86313290  
CF 80143930156; Cod. IPA GGJKD; [www.soprintenzalombardiaoccidentale.beniculturali.it](http://www.soprintenzalombardiaoccidentale.beniculturali.it)  
PEC: [mbac-sabap-co-lc@mailcert.beniculturali.it](mailto:mbac-sabap-co-lc@mailcert.beniculturali.it); PEO: [sabap-co-lc@beniculturali.it](mailto:sabap-co-lc@beniculturali.it)

1/1

AUTORIZZAZIONE SOPRINTENDENZA PAG1/1

Il progetto prevede la realizzazione di un impalcato costituito da travi perimetrali in acciaio IPE360 e travetti IPE200 appoggiato su colonne d'acciaio D168 sp5 che recepisce le prescrizioni fatte. In particolare per l'ancoraggio alle pareti si prevede la realizzazione di piastre di testa tassellate alle murature ai soli fini di creare il contrasto trasversale reciproco dell'impalcato e della chiesa; i carichi verticali vengono trasmessi alle fondazioni (da realizzare) mediante colonne d'acciaio circolare.



**Estratto progetto strutturale – si veda elaborato grafico allegato**

**Relativamente al punto:**

*- si conferma quanto richiesto in merito al tirante dell'arco da realizzare esternamente all'arco stesso riducendo le perforazioni;*

A fronte della mancata autorizzazione all'incatenamento dell'arco mediante perforazione centrata, si prevede nel progetto esecutivo di non incatenare l'arco dell'abside.

Si suggerisce alla committenza di mantenere monitorato nel modo più opportuno le fessure della volta a crociera e dell'arco dell'abside dove non viene realizzato l'incatenamento e qualora si rilevassero dei dissesti di rivalutare la situazione statica.

Si specifica che non si ritiene opportuno procedere con un progetto che prevede le due catene adiacenti all'arco per le seguenti motivazioni:

1. In adiacenza all'arco, da un lato, vi è la presenza di una volta a crociera con una lesena che non consente l'incatenamento ravvicinato all'arco stesso;
2. L'installazione di incatenamenti decentrati e asimmetrici, o comunque non perfettamente in asse all'arco, potrebbe determinare degli sforzi eccentrici sulle murature, anche in relazione a cicli di variazione termica stagionale con perdite di tensione potenzialmente non simmetriche, che potrebbero portare alla formazione di stati di sforzo inopportuni;
3. Infine, essendo la catena libera, e non posata su un solaio, al fine di essere efficace richiederebbe un pre tiro, che potrebbe riportare una risultante sull'arco non in asse con l'arco stesso oggetto di incatenamento e quindi potenzialmente sfavorevole.

L'ipotesi di progetto definitivo, si basava sul vincolo di incaricare ditte specializzate del settore come già fatto in passato in molti interventi analoghi su edifici tutelati (sulla base del loro curriculum), con perforazione lungo lo sviluppo dell'elemento murario affrescato oggetto di incatenamento.

Si propongono di seguito alcune foto di dettaglio dell'arcone oggetto di valutazione nelle quali si rileva la presenza della volta con lesene in aderenza all'arco.

Saranno attuate tutte le prescrizioni indicate nella nota trasmessa.



Quadro fessurativo arco – si rilevano fessure precedentemente stuccate



Quadro fessurativo arco – si rilevano fessure precedentemente stuccate



Quadro fessurativo arco – si rilevano fessure precedentemente stuccate



Quadro fessurativo arco – si rilevano fessure precedentemente stuccate

## CAP.2 ANALISI DELLO STATO DI FATTO

### 2.1 Inquadramento normativo

Si riporta di seguito la definizione di intervento locale secondo le NTC2018

#### 8.4.1. RIPARAZIONE O INTERVENTO LOCALE

*Gli interventi di questo tipo riguarderanno singole parti e/o elementi della struttura. Essi non debbono cambiare significativamente il comportamento globale della costruzione e sono volti a conseguire una o più delle seguenti finalità:*

- ripristinare, rispetto alla configurazione precedente al danno, le caratteristiche iniziali di elementi o parti danneggiate;*
- migliorare le caratteristiche di resistenza e/o di duttilità di elementi o parti, anche non danneggiati;*
- impedire meccanismi di collasso locale;*
- modificare un elemento o una porzione limitata della struttura.*

*Il progetto e la valutazione della sicurezza potranno essere riferiti alle sole parti e/o elementi interessati, documentando le carenze strutturali riscontrate e dimostrando che, rispetto alla configurazione precedente al danno, al degrado o alla variante, non vengano prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura nel suo insieme e che gli interventi non comportino una riduzione dei livelli di sicurezza preesistenti. La relazione di cui al § 8.3 (valutazione della sicurezza) che, in questi casi, potrà essere limitata alle sole parti interessate dall'intervento e a quelle con esse interagenti, dovrà documentare le carenze strutturali riscontrate, risolte e/o persistenti, ed indicare le eventuali conseguenti limitazioni all'uso della costruzione. Nel caso di interventi di rafforzamento locale, volti a migliorare le caratteristiche meccaniche di elementi strutturali o a limitare la possibilità di meccanismi di collasso locale, è necessario valutare l'incremento del livello di sicurezza locale.*

### 2.2 Definizione del modello di riferimento per le analisi

Il modello per la valutazione della sicurezza viene definito e giustificato dal progettista, caso per caso, in relazione al comportamento strutturale atteso, tenendo conto delle indicazioni generali di seguito esposte.

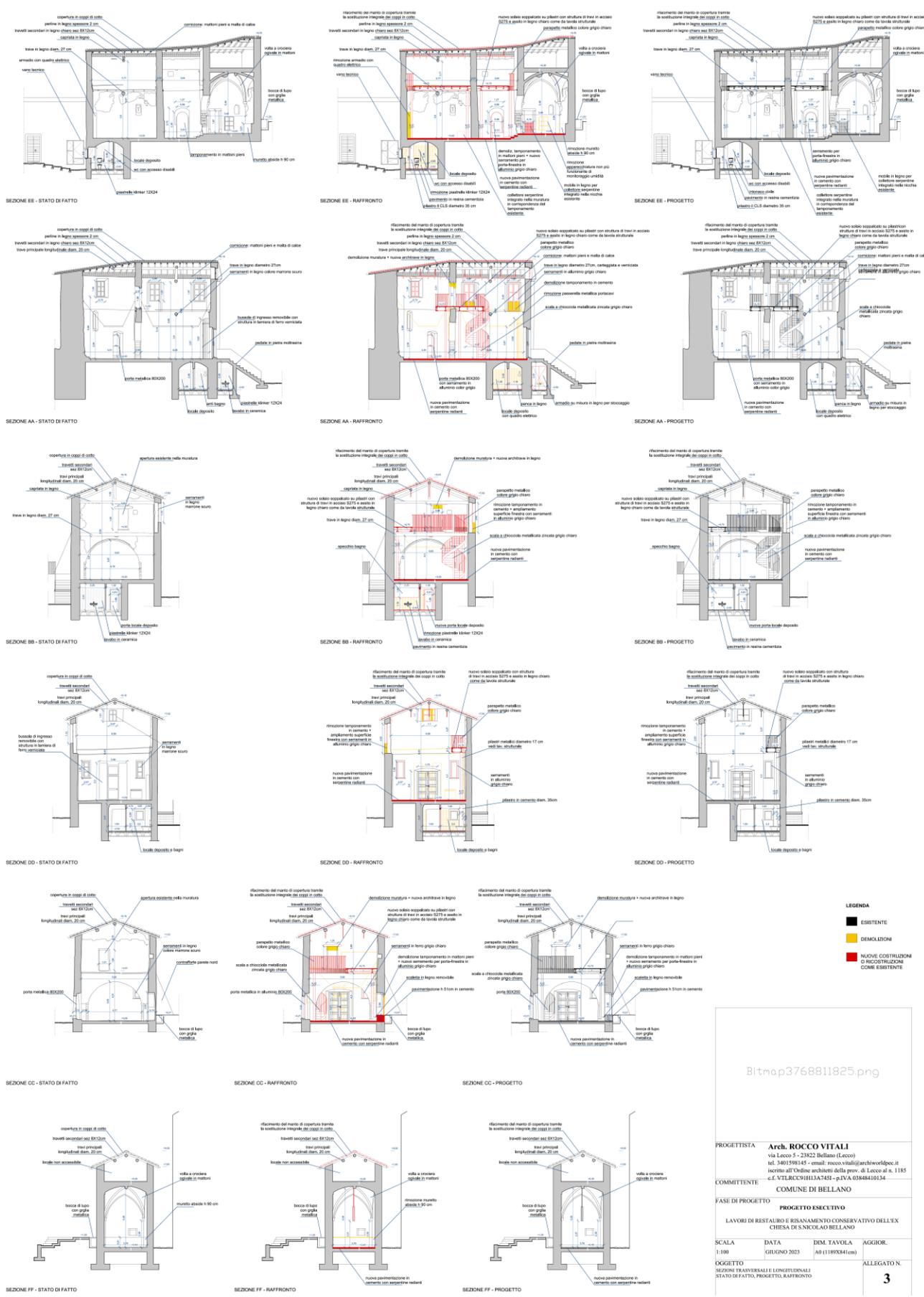
#### 2.2.1 Analisi stato di fatto e rilievo fotografico

Per quanto concerne l'analisi dello stato di fatto e il rilievo si fa riferimento alla documentazione predisposta dallo Studio Vitali di Lecco. Si riporta stralcio della documentazione.

Il rilievo geometrico strutturale viene riferito alla geometria complessiva, sia della costruzione, sia degli elementi costruttivi, comprendendo i rapporti con le eventuali strutture in aderenza.

Non sono presenti dissesti rilevanti, quadri fessurativi e meccanismi di danno per i quali porre particolare attenzione. In corso di esecuzione si dovranno osservare eventuali anomalie derivanti dalle modifiche in atto.

Si riportano alcune foto di rilievo effettuate il giorno 26/07/2022. In tale occasione è stato svolto un rilievo *laser scan* dal sottoscritto Ing. Amigoni.



Elaborati grafici architettonici di riferimento in fase di progettazione – far riferimento ai documenti esecutivi dei progettisti architettonici



Rilievo del 26/07/2022 - Studio Amigoni



Rilievo del 26/07/2022 - Studio Amigoni



Rilievo del 26/07/2022 - Studio Amigoni

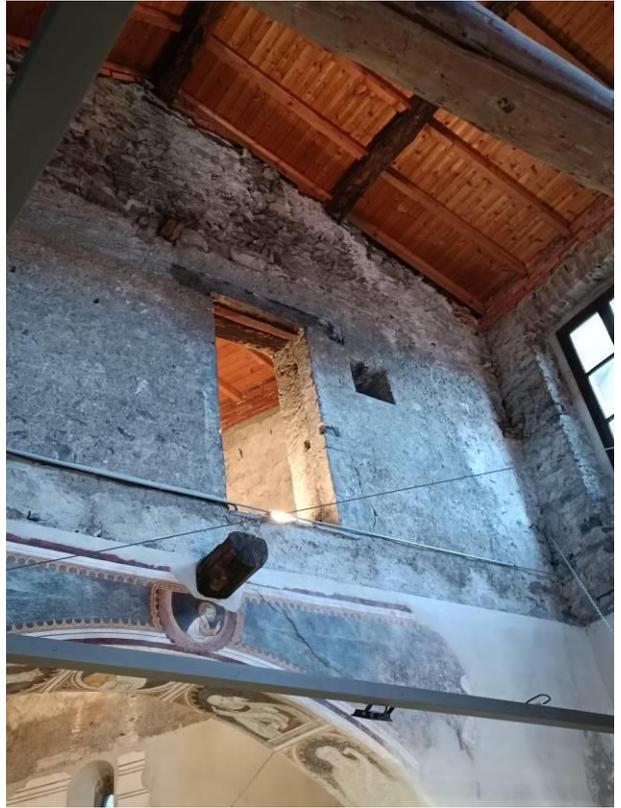
Andamento quadro fessurativo ad arco



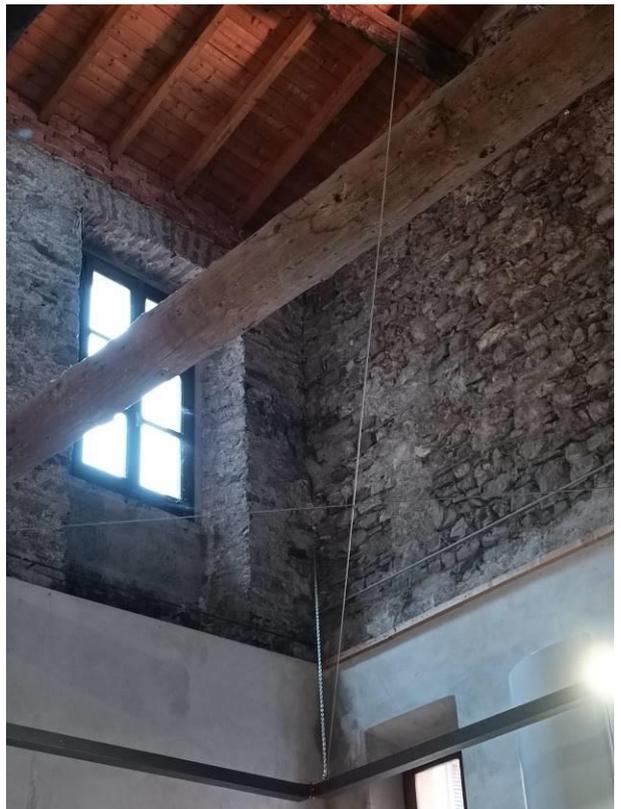
Rilievo del 26/07/2022 - Studio Amigoni



Rilievo del 26/07/2022 - Studio Amigoni



Rilievo del 26/07/2022 - Studio Amigoni



Rilievo del 26/07/2022 - Studio Amigoni



Rilievo del 26/07/2022 - Studio Amigoni



Quadro fessurativo volta del coro



Rilievo del 26/07/2022 - Studio Amigoni



## 2.2.2 Caratterizzazione meccanica dei materiali

L'edificio è caratterizzato da struttura portante in muratura portante.

A seguire si riporta la Tabella C.8.5.I tratta dalla *Circolare 21 gennaio 2019 n.7" Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018"* dai quali è possibile evincere dei valori di riferimento dei parametri meccanici della muratura.

Tipologia di muratura	f	$\tau_0$	$f_{v0}$	E	G	w
	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )				
	min-max	min-max		min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0	0,018-0,032	- -	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051	- -	1020-1440	340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	- -	1500-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,4-2,2	0,028-0,042	- -	900-1260	300-420	13 ÷ 16(**)

## 2.2.3 Livelli di conoscenza e fattori di confidenza

I fattori di confidenza sono utilizzati per la riduzione dei valori dei parametri meccanici dei materiali e devono essere intesi come indicatori del livello di approfondimento raggiunto.

Limitatamente al caso di verifiche in condizioni non sismiche di singoli componenti (ad esempio solai sui quali siano state condotte indagini particolarmente accurate) oppure di verifiche sismiche nei riguardi dei meccanismi locali, è possibile adottare livelli di conoscenza differenziati rispetto a quelli impiegati nelle verifiche sismiche globali.

Nel presente caso (ai fini della presente verifica):

LC1: si intende raggiunto quando siano stati effettuati, come minimo, l'analisi storico-critica commisurata al livello considerato, con riferimento al § C8.5.1, il rilievo geometrico completo e indagini limitate sui dettagli costruttivi, con riferimento al § C8.5.2, prove limitate sulle caratteristiche meccaniche dei materiali, con riferimento al § C8.5.3; il corrispondente fattore di confidenza è  $FC=1,35$

Nel caso in cui la muratura in esame possa essere ricondotta alle tipologie murarie presenti nelle Tabelle C8.5.I e C8.5.II, i valori medi dei parametri meccanici da utilizzare per le verifiche possono essere definiti, con riferimento alla tipologia muraria in considerazione per i diversi livelli di conoscenza, per LC1:

- **Resistenze: i valori minimi degli intervalli riportati in Tabella C8.5.I.**
- **Moduli elastici: i valori medi degli intervalli riportati nella tabella suddetta.**

## 2.2.4 Analisi dei carichi

L'azione del vento, della neve e del sisma, ai fini della presente relazione, vengono trascurate.

Per l'analisi dei carichi si faccia riferimento all'analisi dei carichi dello stato di progetto

## 2.2.5 Relazione sui materiali (SDF)

Si faccia riferimento al paragrafo relativo alla caratterizzazione meccanica dei materiali

## CAP.3 ANALISI DELLO STATO DI PROGETTO

### 3.1 Descrizione intervento

La presente relazione è relativa alla verifica strutturale degli interventi locali, secondo le NTC2018, previsti nell'intervento di realizzazione di nuovo impalcato all'interno dell'ex Chiesa di S. Nicolao a Bellano (LC) nel corso dell'intervento di restauro e risanamento conservativo progettato dallo Studio Vitali di Lecco, cui il presente progetto è coerente.

L'intervento prevede dal punto di vista architettonico la riorganizzazione degli allestimenti degli spazi interni; dal punto di vista strutturale è previsto la realizzazione di un solaio soppalcato costituito da putrelle d'acciaio S275 e assito ligneo (rif. Elaborati grafici). È prevista anche la realizzazione di una scala in acciaio, per la quale si rimanda al progetto esecutivo. L'intervento prevedrebbe inoltre l'installazione di una catena dell'arco del coro mediante perforazione armata e capochiavi esterni, visto il quadro fessurativo dell'arco e della volta a crociera soprastante; tuttavia stante la prescrizione progettuale dell'autorizzazione della Soprintendenza, non si prevede installazione di incatenamenti in corrispondenza dell'arco in oggetto come illustrato nel progetto. Si prevede l'installazione di capochiavi sulle travi del soppalco in corrispondenza dell'arco. In fase esecutiva saranno sviluppati i dettagli per l'interferenza tra trave in legno esistente e soppalco.

Non è oggetto della presente attività di progettazione definitiva, la valutazione materica e diagnostica, nonché della vulnerabilità statica e sismica globale del fabbricato, che saranno oggetto di approfondimento nel corso della progettazione esecutiva. Per le verifiche della scala e dei parapetti si rimanda al progetto esecutivo.

La posizione delle travi nelle tavole di progetto è da intendersi indicativo poiché il tracciamento esecutivo dovrà essere eseguito in sito con il direttore lavori strutturale.

### 3.2 Riferimenti normativi

Il calcolo della struttura verrà eseguito nel rispetto delle normative attualmente in vigore e delle principali raccomandazioni CNR-UNI riguardanti il calcolo delle strutture e le indagini sui terreni adottando il metodo degli stati limite:

- Norme tecniche per le costruzioni decreto ministeriale 17 gennaio 2018 - NTC2018;
- Circolare 21 gennaio 2019 n.7" Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018"

### 3.3 Relazione sui materiali (SDP)

Per quanto concerne i materiali esistenti si faccia riferimento al capitolo precedente.

Per quanto concerne l'acciaio si utilizzerà acciaio del tipo

Acciaio da carpenteria:

<i>Elemento</i>	<i>Classe</i>	<i>fyk (kg/cm<sup>2</sup>)</i>
Acciaio da carpenteria	S275	2.750

Barre filettate: **Tabella 11.3.XII.b**

Classe	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	240	300	480	649	900
$f_{tb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	400	500	600	800	1000

### 3.4 Analisi dei carichi

#### SOLAIO S01 – SOLAIO SOPPALCO

##### G1: CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI

TRAVI IN ACCIAIO	60	kg/m
ASSITO IN LEGNO	40	kg/mq

##### G2: CARICHI PERMANENTI PORTATI

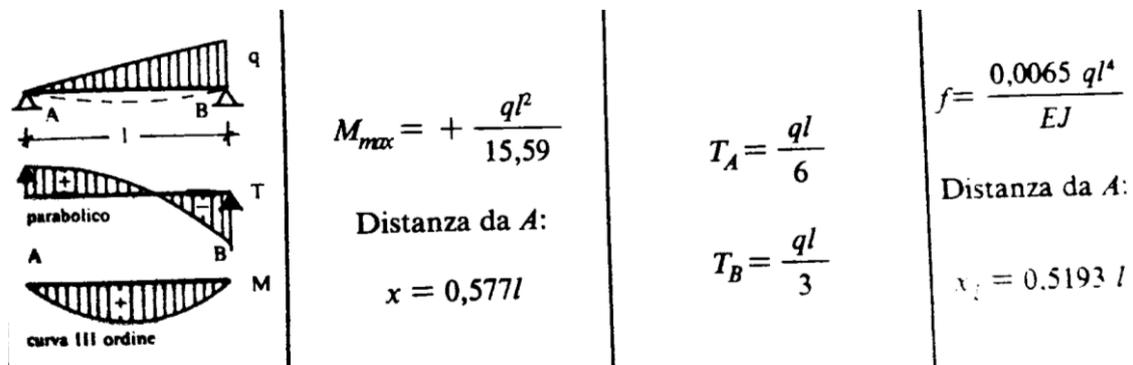
N.P.	-	kg/mq
------	---	-------

##### Q: CARICHI ACCIDENTALI

Individuato dal progettista (non riferito a Tab. 3.1.II - NTC2018)	200	kg/mq
Carico parapetto:	50	kg/m

### 3.5 Verifica singoli elementi tecnici

#### TRAVE TIPO 1 (TRAVE PRINCIPALE IMPALCATO – IPE360)



#### Verifica della sezione

L	=	9.30 m	
A. Inf.	=	3.35 m	
Pak	=	240	kg/mq
pak'	=	805	kg/m (soppalco)
pak''	=	110	kg/m (parapetti e trave)
Mak	=	pak' L <sup>2</sup> /15.59 + pak'' L <sup>2</sup> /8	= 5'655 kgm
Vak	=	pak' L/3 + pak'' L/2	= 3'007 kg
f	=	13/2000 pak' L <sup>4</sup> /EJ + 5/384 pak'' L <sup>4</sup> /EJ	= 1.145+0.313 = 1.458 cm = L/637
σ	=	MW	= 625 kg/cmq < 1'900 kg/cmq ACCIAIO S275
Mad	=	Mak x 1.5	= 8'482 kgm
Vad	=	Vak x 1.5	= 4'510 kg
Wpl	=	903.79 cm <sup>3</sup>	
γM0	=	1.05	
Mrd	=	Wpl fyk / γM0	= 23'670 kgm > Mrd

TRAVE TIPO 2 (TRAVI SECONDARIA IMPALCATO – IPE200)Verifica della sezione

L	=	5.20 m		
Int.	=	0.80 m		
Pak	=	250	kg/mq	
pak	=	200	kg/m	
Mak	=	pak L <sup>2</sup> /8	=	676 kgm
Vak	=	pak L/2	=	650 kg
f	=	5/384 pak L <sup>4</sup> /EJ	=	0.47 cm = L/1'114
σ	=	M/W	=	349 kg/cmq < 1'900 kg/cmq ACCIAIO S275
Pad	=	50 kg/m x 1.3 + (200) kg/mq x 1.5	=	365 kg/mq
pad	=		=	295 kg/m
Mad	=	pad L <sup>2</sup> /8	=	997 kgm
Vad	=	pad L/2	=	767 kg
Wpl	=	194.35 cm <sup>3</sup>		
γM0	=	1.05		
Mrd	=	Wpl fyk / γM0	=	5'090 kgm > Mrd

Verifica dei collegamenti

D	=	27	cm	
Nad	=	Mad/ d	=	8'482 kgm / (0.27 m) = 31'416 kg
ftb	=	8'000 kg/cmq		
γM2	=	1.25		
Ares	=	0.75 x 2.4 <sup>2</sup> / 4 π	=	3.39 cmq
Nrd	=	4x 0.90 ftb Ares / γM2 (1.25)	=	78'105 kg > Nad = 31'416 kg
Fvrd	=	4x 0.60 ftb Ares / γM2 (1.25)	=	52'070 kg > Vad = 4'510 kg

Verifica dell'appoggio

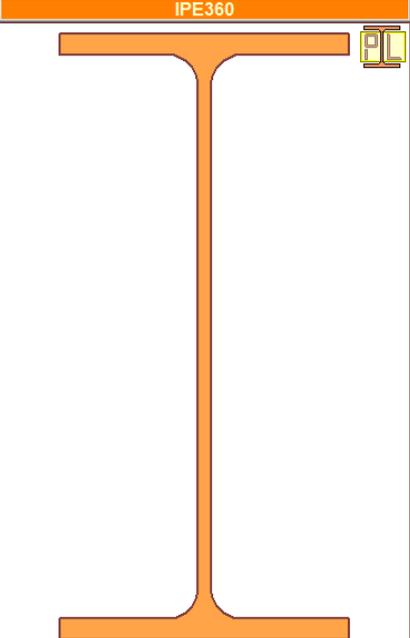
σ	=	Vad / (30x17)	=	8.84 kg/cmq → realizzare base di ripartizione in opera
---	---	---------------	---	--

Verifica dell'assito

L	=	0.80 m		
Int.	=	1.00 m		
Pak	=	250	kg/mq	
pak	=	250	kg/m	
Mak	=	pak L <sup>2</sup> /8	=	20 kgm
W	=	b h <sup>2</sup> /6 = 100x 4 x 4 /6	=	267 cm <sup>3</sup>
σ	=	M/W	=	7.5 kg/cmq < σamm Legno

Stacec - Acciaio - ProList Ver. 2.0

**IPE360**



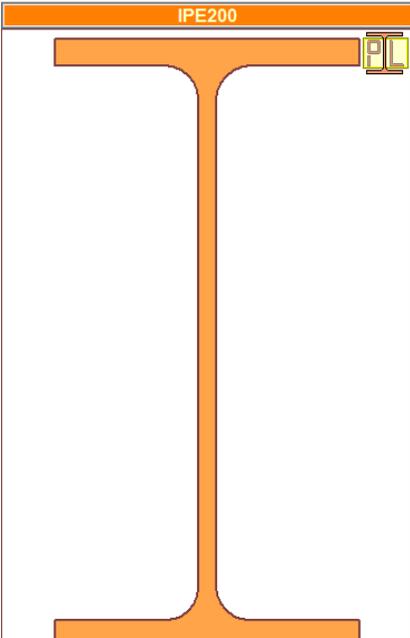
**Geometria**

<b>Principali</b>		
B	170.0	mm
B2		mm
H	360.0	mm
<b>Spessori</b>		
t1	8.0	mm
t2	12.7	mm
t3	12.7	mm
<b>Raccordi</b>		
R1	18.00	mm
R2	18.00	mm
<b>Caratteristiche Elastiche</b>		
<b>Generali</b>		
Peso	57.10	daN/m
Area	72.74	cm <sup>2</sup>
rx	15.0	cm
ry	3.8	cm
xg	8.50	cm
yg	18.00	cm
It	29.14	cm <sup>4</sup>
<b>Momenti d'inerzia</b>		
Jx	16268.32	cm <sup>4</sup>
Jy	1043.46	cm <sup>4</sup>
Jxy	-0.02	cm <sup>4</sup>
<b>Moduli di resistenza</b>		
Wx	903.79	cm <sup>3</sup>
Wy	122.76	cm <sup>3</sup>

**Acciaio**  
© STACEC Srl

Stacec - Acciaio - ProList Ver. 2.0

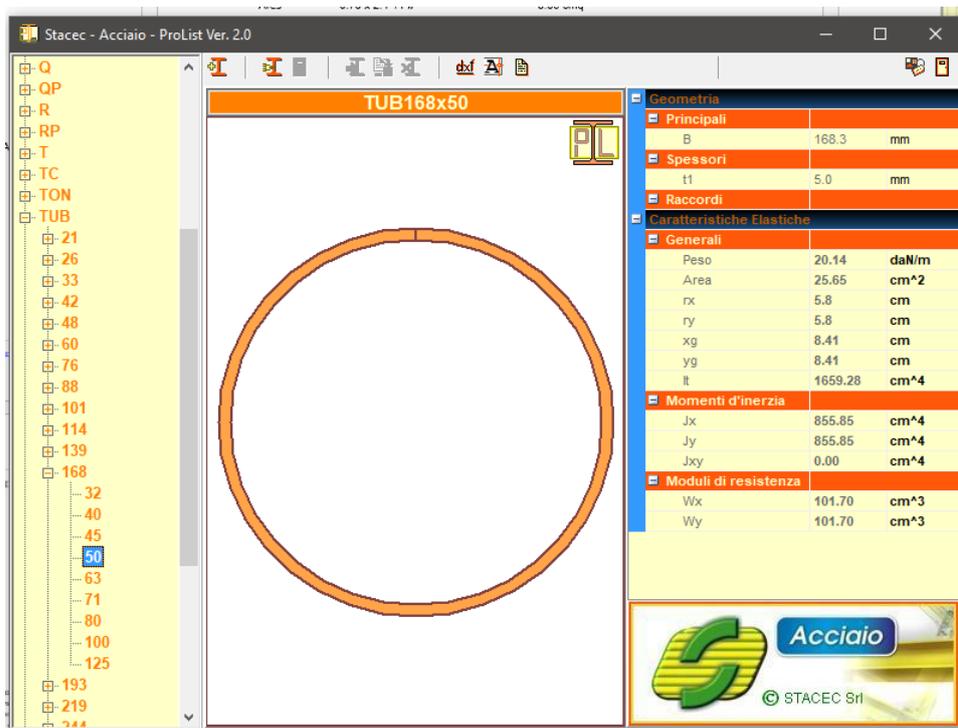
**IPE200**



**Geometria**

<b>Principali</b>		
B	100.0	mm
B2		mm
H	200.0	mm
<b>Spessori</b>		
t1	5.6	mm
t2	8.5	mm
t3	8.5	mm
<b>Raccordi</b>		
R1	12.00	mm
R2	12.00	mm
<b>Caratteristiche Elastiche</b>		
<b>Generali</b>		
Peso	22.36	daN/m
Area	28.49	cm <sup>2</sup>
rx	8.3	cm
ry	2.2	cm
xg	5.00	cm
yg	10.00	cm
It	5.22	cm <sup>4</sup>
<b>Momenti d'inerzia</b>		
Jx	1943.52	cm <sup>4</sup>
Jy	142.37	cm <sup>4</sup>
Jxy	0.00	cm <sup>4</sup>
<b>Moduli di resistenza</b>		
Wx	194.35	cm <sup>3</sup>
Wy	28.47	cm <sup>3</sup>

**Acciaio**  
© STACEC Srl



La posizione dei fori per le unioni bullonate o chiodate deve rispettare le limitazioni presentate nella Tab. 4.2.XVIII, che fa riferimento agli schemi di unione riportati nella Fig. 4.2.5.

Tab. 4.2.XVIII - Posizione dei fori per unioni bullonate e chiodate.

Distanze e interassi (Fig. 4.2.5)	Minimo	Massimo		
		Unioni esposte a fenomeni corrosivi o ambientali	Unioni non esposte a fenomeni corrosivi o ambientali	Unioni di elementi in acciaio resistente alla corrosione (UNI EN10025-5)
$e_1$	$1,2 d_0$	$4t+40$ mm	-	$\max(8t;12$ mm)
$e_2$	$1,2 d_0$	$4t+40$ mm	-	$\max(8t;125$ mm)
$P_1$	$2,2 d_0$	$\min(14t;200$ mm)	$\min(14t;200$ mm)	$\min(14t;175$ mm)
$P_{1,0}$	-	$\min(14t;200$ mm)	-	-
$P_{1,i}$	-	$\min(28t;400$ mm)	-	-
$P_2$	$2,4 d_0$	$\min(14t;200$ mm)	$\min(14t;200$ mm)	$\min(14t;175$ mm)

L'instabilità locale del piatto posto tra i bulloni/chiodi non deve essere considerata se  $(p_1/t) < [9(235/f_y)^{0,5}]$ : in caso contrario si assumerà una lunghezza di libera inflessione pari a  $0,6 \cdot p_1$ .

$t$  è lo spessore minimo degli elementi esterni collegati.

I fori devono avere diametro uguale a quello del bullone maggiorato al massimo di 1 mm, per bulloni sino a 20 mm di diametro, e di 1,5 mm per bulloni di diametro maggiore di 20 mm. Si può derogare da tali limiti quando eventuali assestamenti sotto i carichi di servizio non comportino il superamento dei limiti di deformabilità o di servizio. Quando necessario, è possibile adottare "accoppiamenti di precisione" in cui il gioco foro-bullone non dovrà superare 0,3 mm per bulloni sino a 20 mm di diametro e 0,5 mm per bulloni di diametro superiore, o altri accorgimenti di riconosciuta validità.

Per fori asolati o maggiorati devono essere utilizzate le indicazioni riportate in UNI EN 1993-1-8.

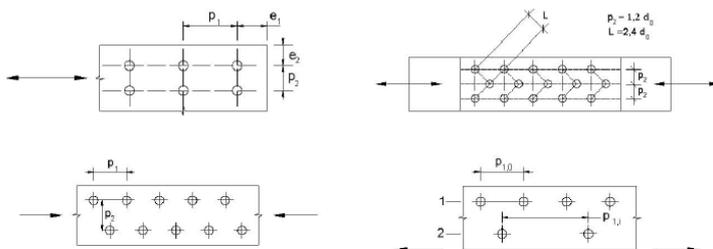
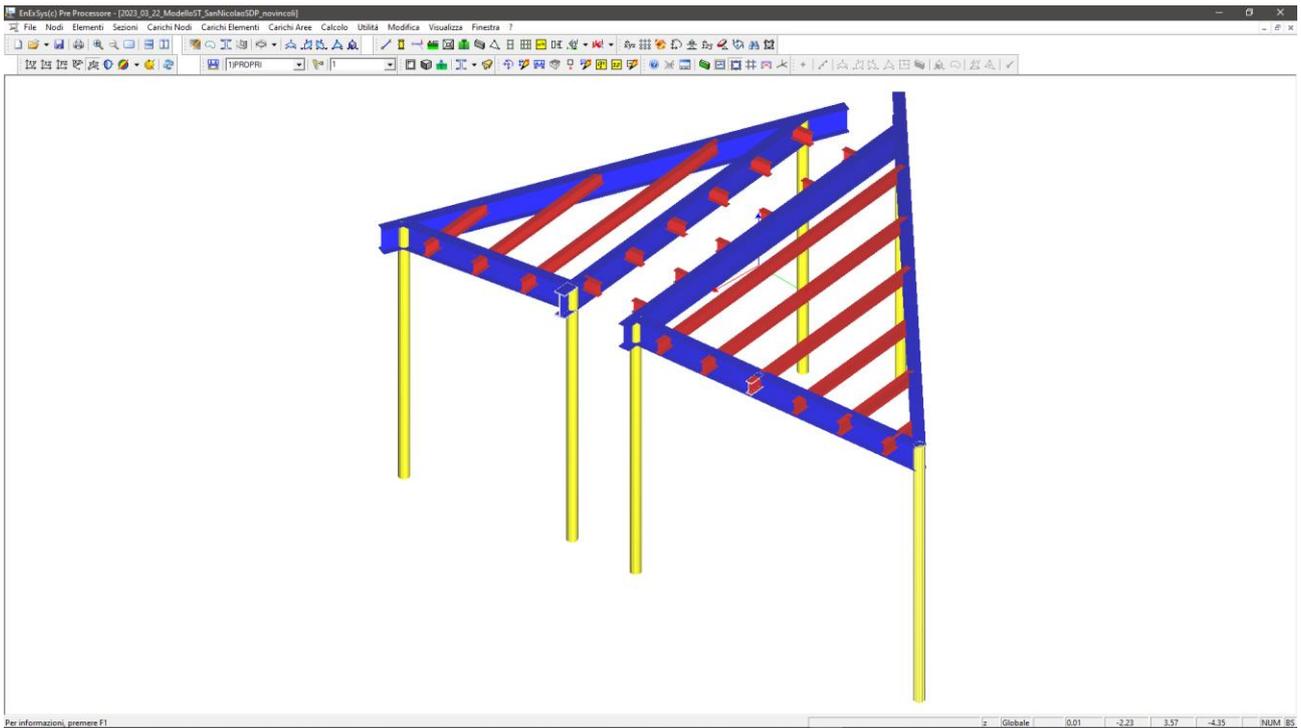


Fig. 4.2.5 - Disposizione dei fori per le realizzazioni di unioni bullonate o chiodate

## Riferimenti NTC2018

Si riporta una modellazione semplificata di calcolo con software EnExSys della WindStrand.



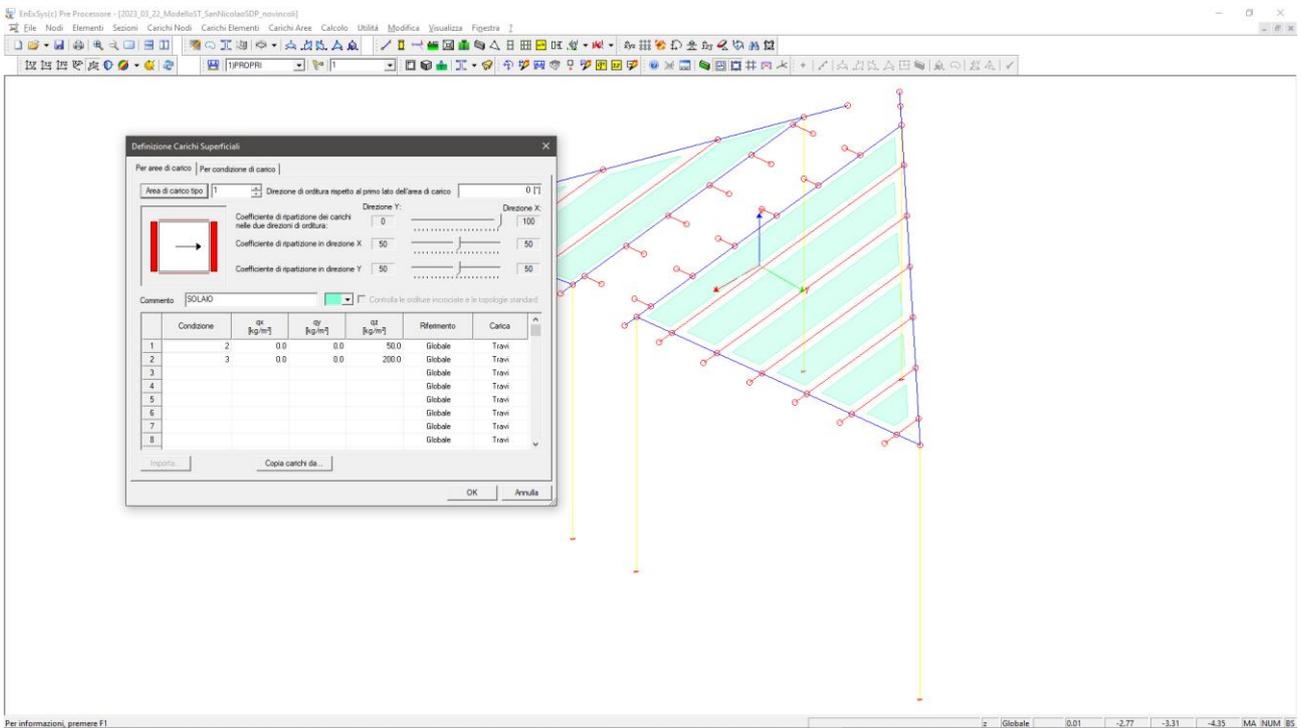
Modellazione 3d



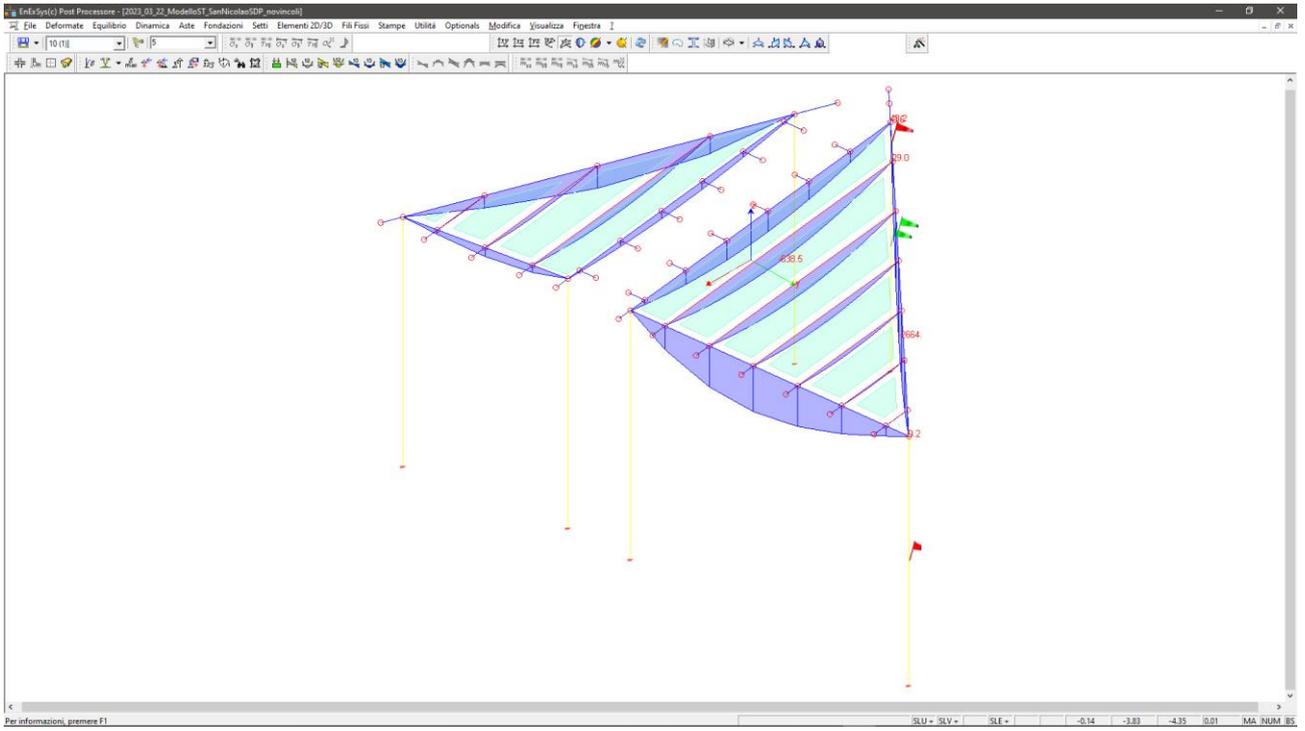
IPE360

IPE200

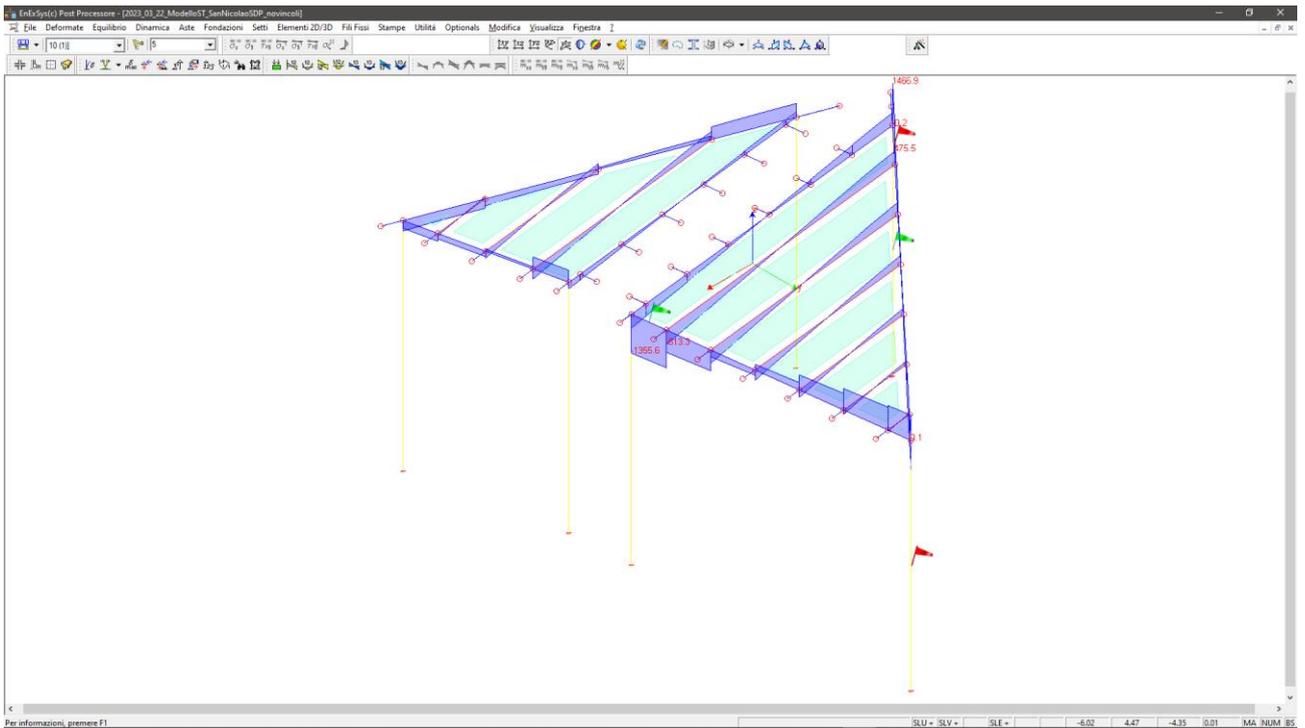
TUBO D168X5



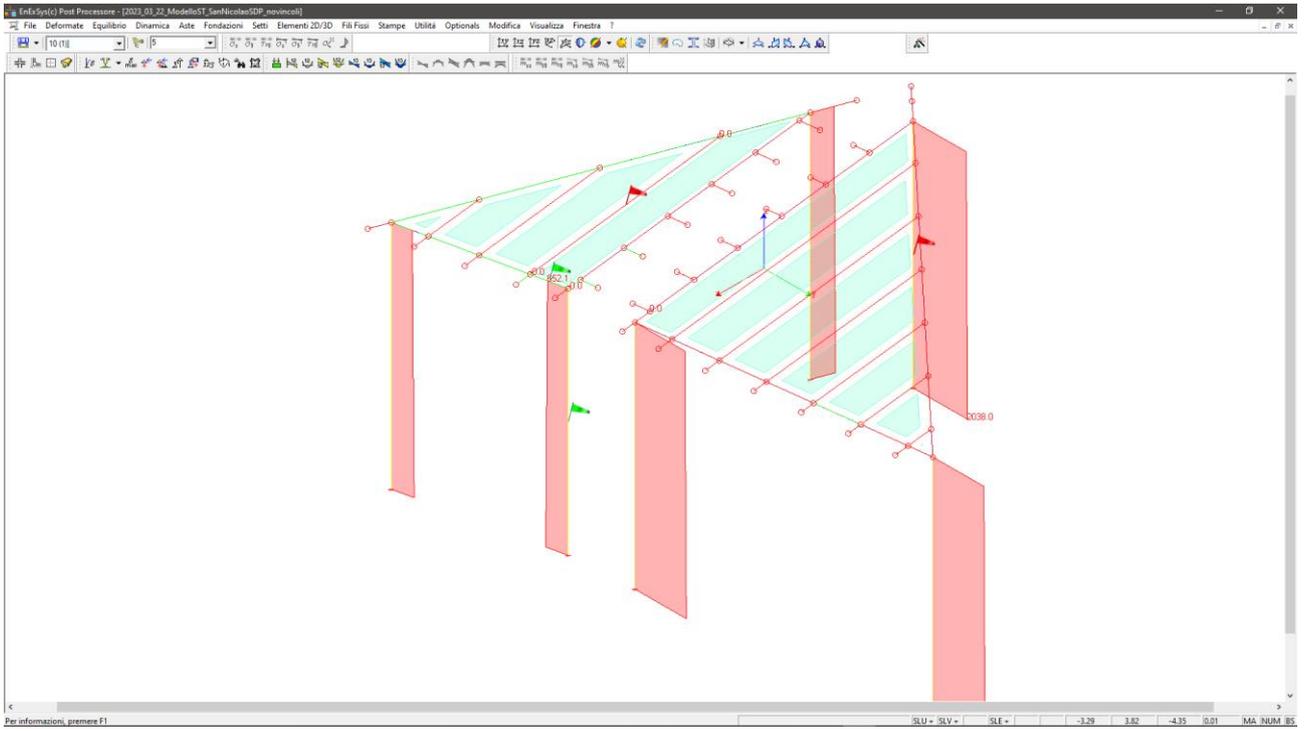
Carichi applicati



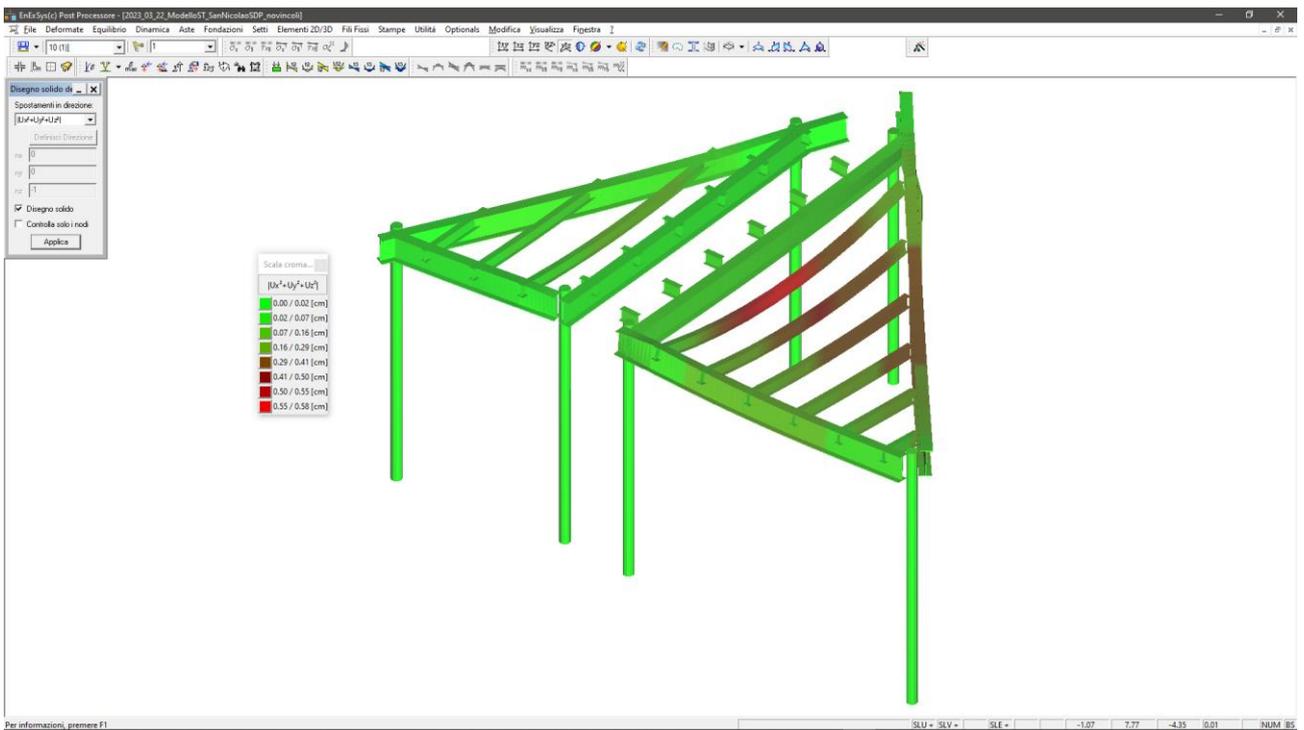
Momenti agenti SLE



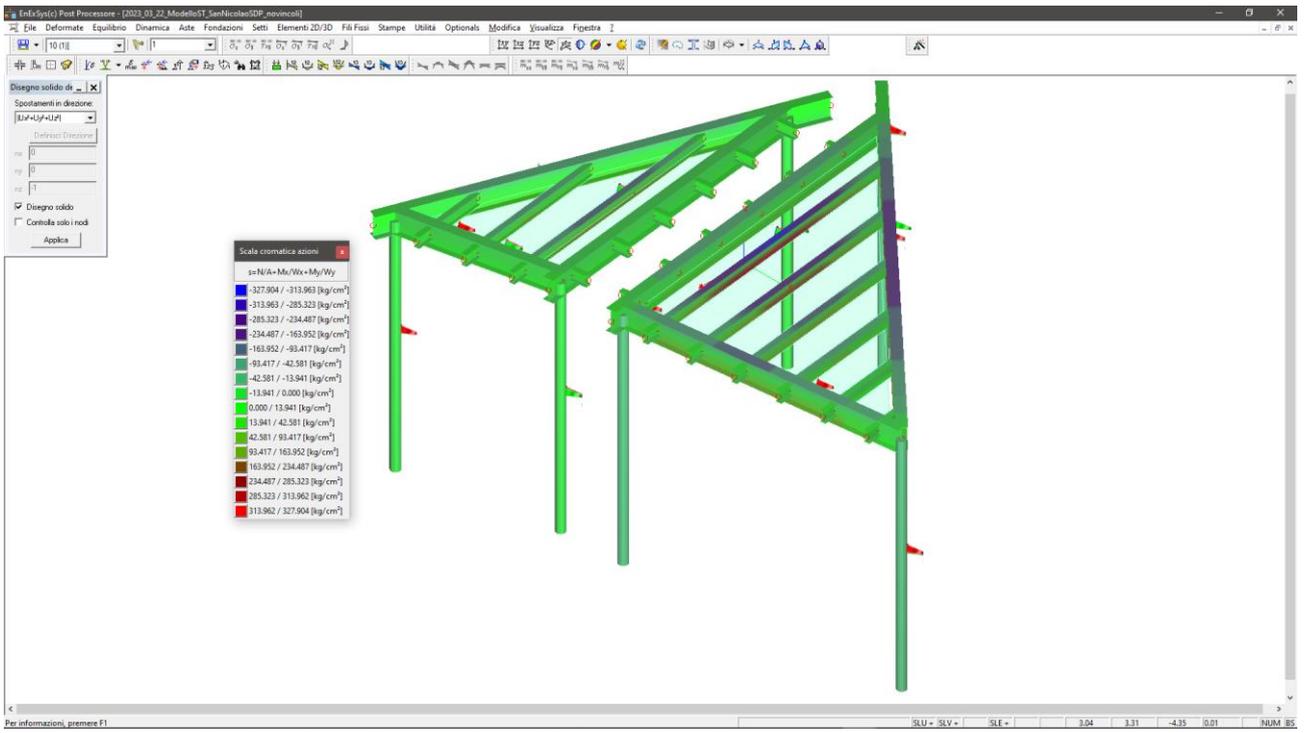
Tagli agenti SLE



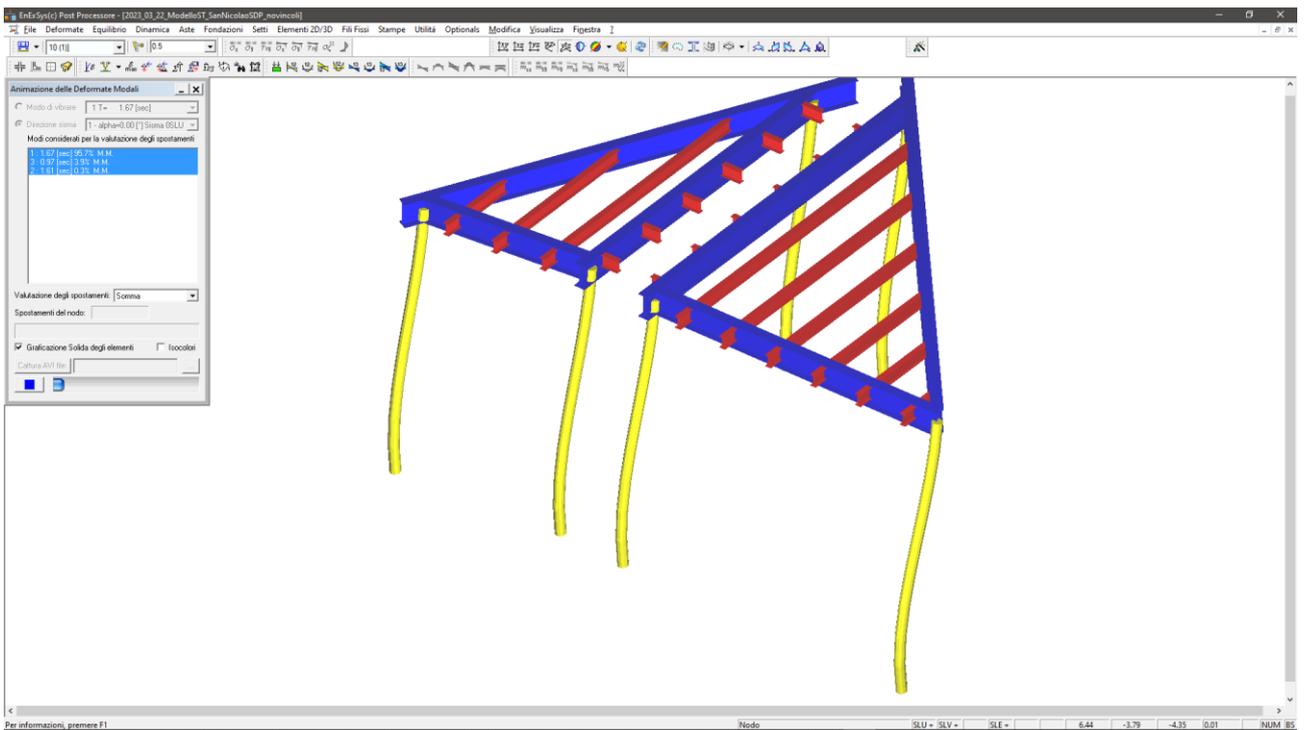
Azione assiale SLE



Deformate SLE



Tensione SLE



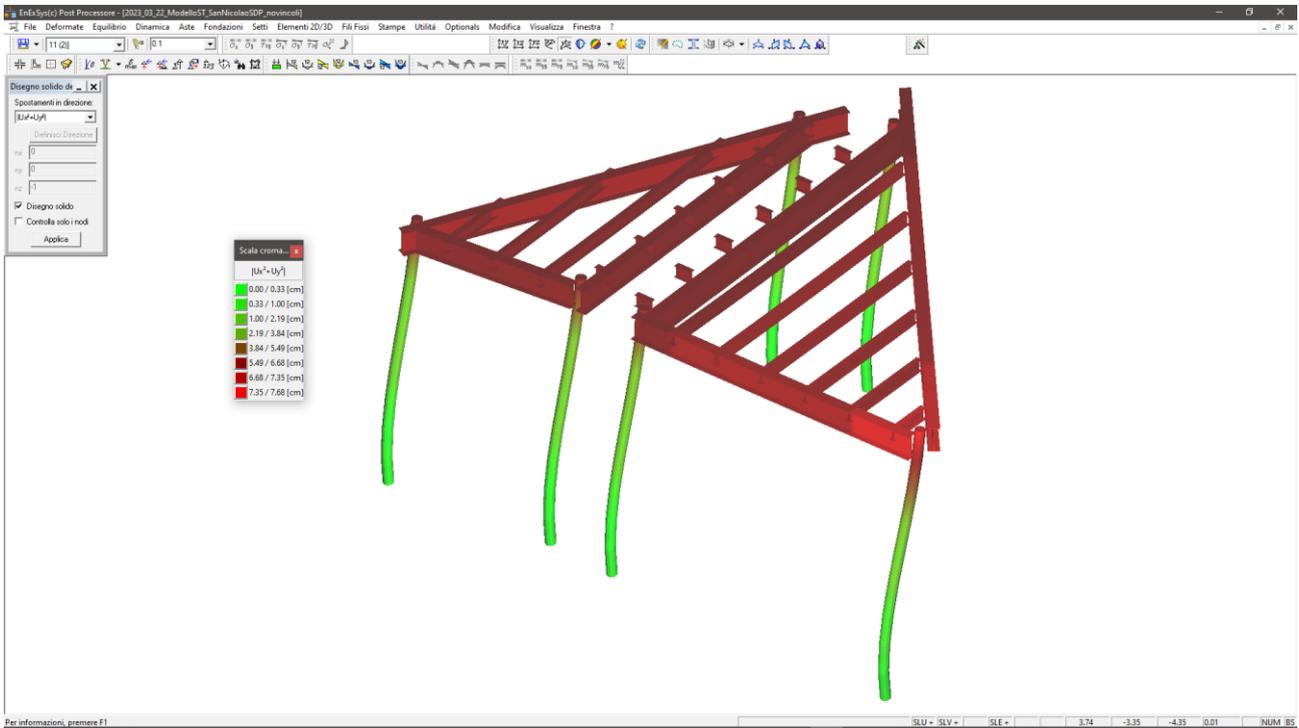
Deformazione modale – modo

Si propone di seguito un confronto tra gli spostamenti attesi tra

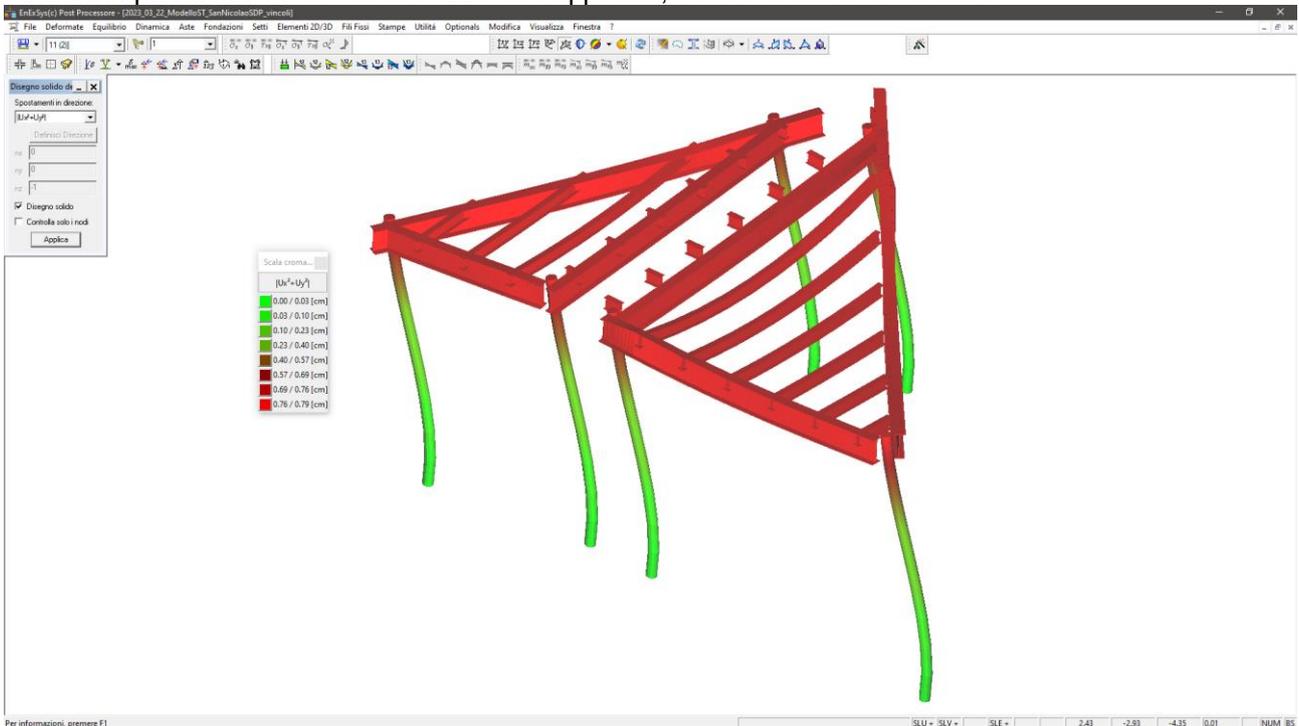
- Telaio d'impalcato con una massa orizzontale applicata, non vincolato alle murature
- Telaio d'impalcato con una massa orizzontale applicata, vincolato alle murature

Per la valutazione della massa si considera un carico trasversale pari a:

$$P = 0.70 \text{ m} \times 1.00 \text{ m} \times 2'000 \text{ kg} \times 0.05 \text{ (carico equivalente pari al 5\% della massa applicata)}$$



Telaio d'impalcato con una massa orizzontale applicata, non vincolato alle murature



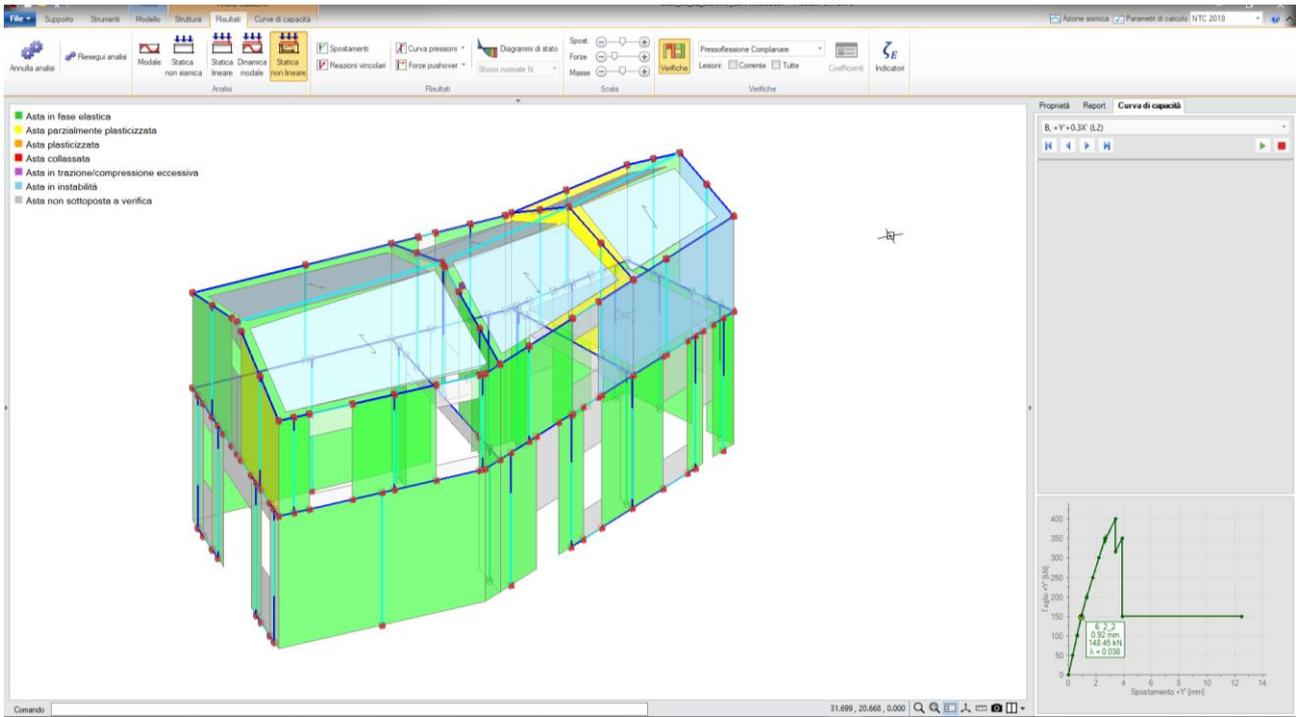
Telaio d'impalcato con una massa orizzontale applicata, vincolato alle murature, (la reazione vincolare risulta contenuta)

La struttura risulta stabile e vista la sua rigidezza nel piano non determina una trasmissione significativa di massa alla struttura esistente.

### 3.6 Modellazione globale ante e post operam

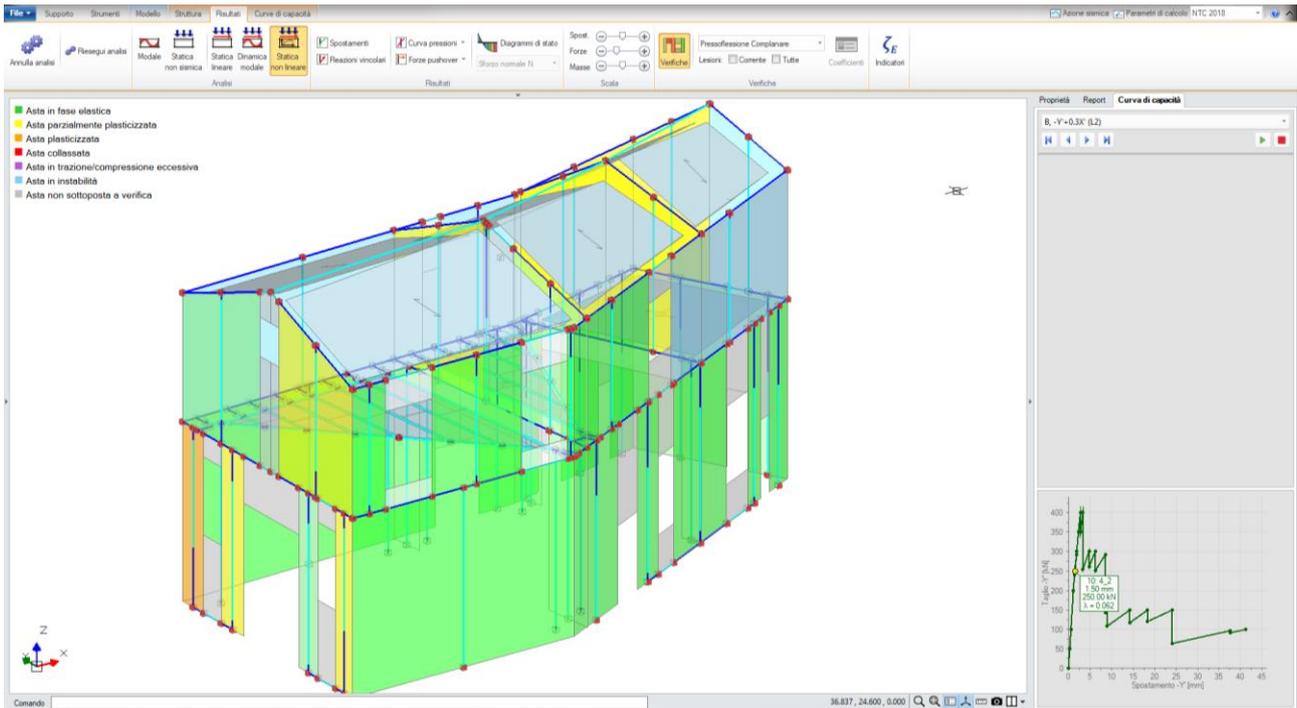
Ai soli fini della valutazione dell'intervento di installazione dell'impalcato d'acciaio si propone una valutazione di vulnerabilità sismica ante e post operam. La categoria di sottosuolo è B, la categoria topografica T1 (rif. RELAZIONE GEOLOGICA (R1 – R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR Agosto 2022 Dr. Fabrizio Bigioli Geologo).

#### ANALISI STATICA NON LINEARE - ANTE OPERAM



N° curva	Corrente	Vista	Distr.	Direz.	Direz.2	Mt	Control	$\zeta_{PGA}(SLV)$	$\zeta_{TR}(SLV)$	VN.CLV	$\zeta_{PGA}(SLD)$	$\zeta_{TR}(SLD)$	$\zeta_{PGA}(SLO)$	$\zeta_{TR}(SLO)$
1	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	B	+X'	+0.3Y'		L2	1.476	5.211	261	2.524	24.080	2.059	8.700
2	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	B	+X'	-0.3Y'		L2	1.476	5.211	261	<b>1.095</b>	1.200	<b>0.882</b>	0.767
3	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	B	+Y'	+0.3X'		L2	<b>0.714</b>	<b>0.314</b>	16	1.333	2.140	1.294	1.767
4	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	B	+Y'	-0.3X'		L2	0.952	0.878	44	1.381	2.520	1.353	2.000
5	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	B	-X'	+0.3Y'		L2	1.143	1.764	88	1.952	8.340	1.647	3.567
6	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	B	-X'	-0.3Y'		L2	1.476	5.211	261	1.667	4.720	1.412	2.267
7	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	B	-Y'	+0.3X'		L2	1.000	1.051	53	1.857	7.640	1.765	4.800
8	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	B	-Y'	-0.3X'		L2	1.357	3.632	182	1.476	2.980	1.353	2.233
9	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	E	+X'	+0.3Y'		L2	1.476	5.211	261	2.286	17.200	1.941	6.333
10	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	E	+X'	-0.3Y'		L2	1.476	5.211	261	1.429	2.660	1.176	1.400
11	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	E	+Y'	+0.3X'		L2	1.024	1.156	58	1.476	2.980	1.412	2.267
12	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	E	+Y'	-0.3X'		L2	1.024	1.156	58	1.476	3.220	1.412	2.267
13	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	E	-X'	+0.3Y'		L2	1.333	3.484	174	2.286	15.780	1.824	5.600
14	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	E	-X'	-0.3Y'		L2	1.476	5.211	261	1.714	5.760	1.529	2.867
15	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	E	-Y'	+0.3X'		L2	1.000	1.051	53	1.952	8.340	1.824	5.600
16	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	E	-Y'	-0.3X'		L2	0.976	0.958	48	1.429	2.660	1.353	2.000

## ANALISI STATICA NON LINEARE - POST OPERAM



Gestione risultati Analisi Pushover														
N° curva	Corrente	Vista	Distr.	Direz.	Direz. 2	Mt	Control	$\zeta_{PGA}(SLV)$	$\zeta_{TR}(SLV)$	VN.CLV	$\zeta_{PGA}(SLD)$	$\zeta_{TR}(SLD)$	$\zeta_{PGA}(SLO)$	$\zeta_{TR}(SLO)$
1	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	B	+X'	+0.3Y'		L2	1.476	5.211	261	2.762	35.720	2.353	13.900
2	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	B	+X'	-0.3Y'		L2	1.476	5.032	252	<b>1.095</b>	1.200	<b>0.882</b>	0.733
3	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	B	+Y'	+0.3X'		L2	1.476	5.211	261	1.238	1.920	1.059	1.233
4	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	B	+Y'	-0.3X'		L2	0.810	0.446	22	1.429	2.660	1.294	1.767
5	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	B	-X'	+0.3Y'		L2	1.476	5.211	261	2.571	28.320	2.176	10.567
6	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	B	-X'	-0.3Y'		L2	1.476	5.211	261	2.762	38.480	2.353	13.900
7	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	B	-Y'	+0.3X'		L2	<b>0.786</b>	<b>0.400</b>	20	1.429	2.660	1.294	1.933
8	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	B	-Y'	-0.3X'		L2	0.881	0.667	33	1.524	3.360	1.353	2.000
9	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	E	+X'	+0.3Y'		L2	1.476	5.211	261	2.667	33.100	2.353	12.733
10	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	E	+X'	-0.3Y'		L2	1.476	5.211	261	1.333	2.140	1.059	1.233
11	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	E	+Y'	+0.3X'		L2	1.476	5.211	261	1.238	1.920	1.176	1.400
12	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	E	+Y'	-0.3X'		L2	<b>0.786</b>	<b>0.427</b>	21	1.429	2.660	1.353	2.000
13	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	E	-X'	+0.3Y'		L2	1.476	5.211	261	2.571	28.320	2.176	10.567
14	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	E	-X'	-0.3Y'		L2	1.476	5.211	261	2.857	41.420	2.412	15.167
15	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	E	-Y'	+0.3X'		L2	<b>0.786</b>	<b>0.400</b>	20	1.333	2.140	1.235	1.733
16	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	E	-Y'	-0.3X'		L2	0.881	0.667	33	1.524	3.360	1.353	2.033

Si dimostra che l'intervento di installazione dell'impalcato d'acciaio non determina una modifica del comportamento globale considerando la modesta massa che lo costituisce; dal punto di vista locale si determina un miglioramento per effetto dell'incatenamento delle murature create dalle travi del soppalco.

### 3.7 Conclusioni

La presente relazione è relativa alla verifica strutturale degli interventi locali, secondo le NTC2018, previsti nell'intervento di realizzazione di nuovo impalcato all'interno dell'ex Chiesa di S. Nicolao a Bellano (LC) nel corso dell'intervento di restauro e risanamento conservativo progettato dallo Studio Vitali di Lecco, cui il presente progetto è coerente.

L'intervento prevede dal punto di vista architettonico la riorganizzazione degli allestimenti degli spazi interni; dal punto di vista strutturale è previsto la realizzazione di un solaio soppalcato costituito da putrelle d'acciaio S275 e assito ligneo (rif. Elaborati grafici). È prevista anche la realizzazione di una scala in acciaio, per la quale si rimanda al progetto esecutivo. L'intervento prevedrebbe inoltre l'installazione di una catena dell'arco del coro mediante perforazione armata e capochiavi esterni, visto il quadro fessurativo dell'arco e della volta a crociera soprastante; tuttavia stante la prescrizione progettuale dell'autorizzazione della Soprintendenza, non si prevede installazione di incatenamenti in corrispondenza dell'arco in oggetto come illustrato nel progetto. Si prevede l'installazione di capochiavi sulle travi del soppalco in corrispondenza dell'arco. In fase esecutiva saranno sviluppati i dettagli per l'interferenza tra trave in legno esistente e soppalco.

Non è oggetto della presente attività di progettazione definitiva, la valutazione materica e diagnostica, nonché della vulnerabilità statica e sismica globale del fabbricato, che saranno oggetto di approfondimento nel corso della progettazione esecutiva. Ai soli fini della valutazione dell'intervento di installazione dell'impalcato d'acciaio si propone una valutazione di vulnerabilità sismica ante e post operam per dimostrare che l'intervento di installazione dell'impalcato d'acciaio non determina una modifica del comportamento globale considerando la modesta massa che lo costituisce; dal punto di vista locale si determina un miglioramento per effetto dell'incatenamento delle murature create dalle travi del soppalco. Per le verifiche della scala e dei parapetti si rimanda all'esecutivo d'officina.

La posizione delle travi nelle tavole di progetto è da intendersi indicativo poiché il tracciamento esecutivo dovrà essere eseguito in sito con il direttore lavori strutturale.

Tutte le verifiche condotte agli stati limite secondo la normativa vigente NTC2018 e riportate nella presente relazione, risultano soddisfatte secondo le ipotesi effettuate. In particolare per quanto riguarda la realizzazione delle opere si dovranno osservare tutte le prescrizioni e mettere in opera i dettagli esecutivi previsti dal progettista e dalla buona pratica del costruire, in sicurezza.

Saranno attuati tutti i particolari costruttivi al fine di considerare l'elemento tecnico inserito un elemento di connessione tra le murature portanti, con le funzioni integrative di puntone e tirante di collegamento.

La tipologia di intervento si configura a tutti gli effetti come intervento locale e pertanto non sono necessarie valutazioni globali di natura sismica.

Calolziocorte (LC) 07/06/2023

Il progettista  
Ing. Christian Amigoni