

**COMUNE DI BERGAMO**  
**Area Politiche del Territorio**

**Restauro lavatoi di via Mario Lupo e di via Borgo Canale**

B - Lavatoio di via Borgo Canale



Committente:

**Comune di Bergamo**

Piazza Matteotti, 27, 24123 Bergamo (BG)

Progettisti - Gruppo di lavoro:



**Arch. Ing. Massimo Mazzoleni**

*via G. Quarenghi, 17 - 24030 - Capizzone (BG)*  
*tel. 035 862921 - [studio@mnlab.it](mailto:studio@mnlab.it)*



**Geom. Biagio Trausi**

*c/o UTC Bergamo - Area Politiche del Territorio*  
*Via G. Quarenghi n.33/35 - 24122 Bergamo*  
*tel. 035.399777 - [btrausi@comune.bg.it](mailto:btrausi@comune.bg.it)*

*restituzione cad*

**Geom. Gabriele Moioli**

TAV.  
P. DEF

**RTI**

FASE DI PROGETTO:

Definitivo - Esecutivo

DISCIPLINA:

PROGETTO di RESTAURO

COD. WBS:

18.004b.DE.GEN.REL.7.RTI.Rev 0

DATA:

**02.09.2018**

SCALA:

--

OGGETTO:

PROGETTO DI RESTAURO: Relazione tecnico illustrativa

SUB-ARGOMENTO:

--

Rev.	Data	Oggetto	Disegnato	Verificato
00	02.10.2018	Emissione progetto	NS	MM

**LAVATOIO STORICO DI VIA BORGO CANALE  
BERGAMO**

**PROGETTO DEFINITIVO DEGLI INTERVENTI DI RESTAURO E RIQUALIFICAZIONE**  
**RELAZIONE TECNICO-ILLUSTRATIVA**

---

*Agosto 2018*



## INDICE

<b>1. PREMESSE .....</b>	<b>4</b>
<b>2. LA SITUAZIONE CONSERVATIVA DEL LAVATOIO .....</b>	<b>5</b>
2.1. SUPERFICI MURARIE E MANUFATTI IN CEMENTO DECORATIVO.....	5
2.2. STRUTTURE METALLICHE DI COPERTURA E BARRIERE PERIMETRALI .....	8
2.3. LAVATOIO E PAVIMENTAZIONI.....	11
<b>3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI RESTAURO E RIFUNZIONALIZZAZIONE .....</b>	<b>15</b>
3.1. RESTAURO DELLE MURATURE PERIMETRALI E DI INGRESSO .....	15
3.2. RESTAURO DEL LAVATOIO E DEL BASAMENTO IN ARENARIA .....	16
3.3. RESTAURO E CONSOLIDAMENTO DEGLI ELEMENTI METALLICI DELLA COPERTURA .....	17
3.4. RESTAURO DEGLI ELEMENTI METALLICI DELLA RECINZIONE ESTERNA .....	17
3.5. INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE DEL LAVATOIO .....	18
<b>4. VERIFICA DELLA COPERTURA E PROGETTO DEGLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO.....</b>	<b>21</b>
4.1. RIFERIMENTI NORMATIVI E TECNICI .....	21
4.2. PARAMETRI DI CALCOLO ASSUNTI .....	22
4.2.1. PERIODO DI RIFERIMENTO DEL PROGETTO (§ 2.4.3 NTC 18) .....	22
4.2.2. LIVELLO DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA (p.to C8.A.1.A CIRCOLARE 617/09) .....	22
4.2.3. PROPRIETÀ DEI MATERIALI – MATERIALI ESISTENTI IN OPERA .....	24
4.3. AZIONI SOLLECITANTI DI PROGETTO .....	24
4.3.1. PESI PROPRI STRUTTURALI – Gk1 .....	25
4.3.2. SOVRACCARICHI PERMANENTI – Gk2.....	25
4.3.3. SOVRACCARICO DA NEVE - Q <sub>NK</sub> .....	25
4.3.4. SOVRACCARICO DA VENTO - Q <sub>VK</sub> .....	26
4.4. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA ATTUALE DELLA STRUTTURA .....	27
4.4.1. MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA .....	27
4.4.2. TIPI DI ANALISI CONDOTTE.....	28
4.4.2.1. ANALISI DELLE FREQUENZE PROPRIE .....	28
4.4.2.2. ANALISI IN COMBINAZIONE FONDAMENTALE - SLU .....	30
4.4.2.3. ANALISI IN COMBINAZIONE RARA - SLE .....	32
4.4.3. VERIFICHE STRUTTURALI E VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI SICUREZZA.....	33
4.4.3.1. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI – SLU .....	33
4.5. PROGETTO DELL'INTERVENTO DI RINFORZO.....	36
4.5.1. TIPI DI ANALISI CONDOTTE.....	36
4.5.1.1. ANALISI DELLE FREQUENZE PROPRIE .....	37
4.5.1.2. ANALISI IN COMBINAZIONE FONDAMENTALE - SLU .....	39
4.5.1.3. ANALISI IN COMBINAZIONE RARA - SLE .....	41
4.5.2. VERIFICHE STRUTTURALI E VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI SICUREZZA.....	42

4.5.2.1.	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI – SLU .....	42
4.5.3.	DECLASSAMENTO DELLA STRUTTURA (NTC §8.2) .....	45

## 1. PREMESSE

La presente relazione costituisce parte integrante del progetto definitivo degli interventi di restauro e riqualificazione dell'antico lavatoio di Sant'Erasmo, in via Borgo Canale di Bergamo Alta, interessato da un avanzato stato di degrado ed in condizioni di marcata precarietà.

Nel presente documento viene documentato ed illustrato l'attuale stato di degrado del manufatto ponendo in evidenza i principali fattori scatenanti delle patologie rilevate, e vengono relazionati gli interventi di restauro e consolidamento progettati, facendo costante e puntuale riferimento agli ulteriori elaborati tecnico-descrittivi che compongono il progetto.

Vengono altresì descritti gli interventi di carattere edilizio ed impiantistico previsti ai fini di una riqualificazione della struttura, sul piano funzionale e della sicurezza, in una prospettiva di prossima fruizione da parte del pubblico a questo suggestivo spazio, ormai inutilizzato ed abbandonato da quasi mezzo secolo.

Costituiscono parte integrante della presente tutti gli ulteriori documenti di progetto predisposti qui di seguito elencati:

Relazione Storica	18.004.DEF.RES.REL.2.RSS.Rev 0
Rilievo fotografico	18.004.DEF.RES.REL.3.RF.Rev 0
Rilievo: Pianta - Prospetti	18.004.DEF.RES.RIL.1.PT-S.Rev 0
Progetto di restauro: Pianta - Prospetti	18.004.DEF.RES.PRG.1.PT-S.Rev 0
Interventi di consolidamento e riqualificazione	18.004.DEF.RES.PRG.2.TAV.Rev 0
Scheda di Restauro - Superfici murarie	18.004.DEF.RES.PRG.2.SR.Rev 0
Scheda di Restauro - Lavatoio e pavimentazione	18.004.DEF.RES.PRG.3.SR.Rev 0

## 2. LA SITUAZIONE CONSERVATIVA DEL LAVATOIO

Il lavatoio di Sant'Erasmus, posto di fronte all'omonima chiesetta sulla via Borgo Canale, versa in un avanzato stato di abbandono e degrado che interessa tutte le sue diverse componenti.

Il prolungato inutilizzo e la scarsa manutenzione operata dalla sua chiusura avvenuta nel 1973 hanno determinato una preoccupante progressione dei fenomeni di degrado tanto sulle strutture murarie quanto sugli elementi funzionali del lavatoio, quali l'ampia copertura metallica di protezione o le vasche in graniglia, o ancora il sistema idraulico di adduzione e di scarico delle acque.

Viene riportata di seguito una sintetica descrizione dei fenomeni di degrado e dissesto che interessano i diversi sistemi ed elementi che compongono il lavatoio, rimandando per maggiori dettagli alle Schede di restauro e alle tavole grafiche di rilievo diagnostico allegate al progetto

### 2.1. Superfici murarie e manufatti in cemento decorativo

Le superfici delle pareti sono in cattivo stato di conservazione, con accentuati fenomeni di decoesione degli intonaci originari e dello strato di finitura superficiale, con estese zone di lacuna dell'intonaco in particolare sul fronte nord determinate dai continui percolamenti d'acqua e da probabili infiltrazioni dal terrapieno retrostante.

Su tutte le pareti si rileva inoltre una diffusa presenza di infestanti e di estese patine biologiche.

Si rilevano in specifico le seguenti patologie di degrado:

- **Lesioni strutturali** è presente una significativa lesione strutturale sul cantonale murario esterno della parete Ovest, aggravato dalla presenza di una estesa rampicante con un apparato radicale molto sviluppato che tende ad aprire le lesioni presenti. Si rilevano inoltre fenomeni locali di disarticolazione del tessuto murario nella parte di sommità dei muri causati dalla spinta del terreno e dagli apparati radicali delle alberature presenti nei giardini soprastanti;
- **Presenza di patine estese di origine biologica** determinate dalla consistente presenza di umidità e da depositi di particellato che favoriscono l'attecchimento degli organismi biodeteriogeni. Sono riferibili alla presenza di colonie di organismi e microrganismi di tipo autotrofo (batteri del ciclo dello zolfo, alghe licheni, muschi) ed eterotrofo (batteri, attinomiceti, funghi).
- **Presenza di patina scura determinata da croste nere** il deposito di particellato si è fissato al substrato in quelle aree riparate dal dilavamento quali i sottosquadri o caratterizzate da colaticci di bagna-asciuga ove in alcuni casi il deposito si ispessisce sino a dar luogo ad incrostazioni di tipo dendritico spesse alcuni millimetri; croste nere si sono formate nei sottosquadri delle due colonne di ingresso e del muro su via Borgo Canale.
- **Polverizzazione e/o erosione superficiale delle malte degli intonaci**, da azione di agenti atmosferici e dall'acqua di infiltrazione e/o percolamento; il fenomeno è molto marcato nelle zone di scarpa delle murature, maggiormente esposte al percolamento, e nel sottofalda della parete nord, per via del difettoso innesto della stessa e del conseguente ingresso d'acqua sotto livello.
- **Lacune di intonaco** la fascia alta delle pareti e la zona di sottofalda della parete nord sono interessate diffusamente da cadute delle malte che hanno dato luogo a lacune di profondità delle malte stesse. Il fenomeno è riconducibile ad una maggior azione di dilavamento delle superfici e da fenomeni locali di infiltrazione sotto livello.



- **Infestazione da vegetazione superiore:** sulla fascia di sommità e nelle zone di angolo interno sono rilevabili numerose piante erbacee ed arbustive infestanti, il cui apparato radicale s'è insinuato in profondità nelle discontinuità degli intonaci, della muratura e delle malte di allettamento. Il fenomeno è molto intenso nelle zone superiori con maggiori depositi di natura organica e sulla frangia esterna della parete ovest, a ceppo rustico, dove la marcata disuniformità del tessuto murario ha consentito la crescita di specie infestanti superiori compresa una pianta di edera insinuatasi nella fenditura presente.
- **Decoesione degli intonaci** le zone di intonaco di finitura risultano diffusamente interessate da fenomeni di decoesione che locamente hanno interessato tutto lo spessore del rivestimento.
- **Difetti di adesione degli intonaci** alcune zone di intonaco specie sulla parete nord sono altresì interessate da locali fenomeni di mancanza di adesione al supporto murario.
- **Dislocazione di elementi lapidei** a livello delle colonne dell'ingresso si rileva un grave problema di dissesto della colonna posta a monte, consistente in una profonda frattura verticale del blocco intermedio e nello scalzamento parziale del capitello sommitale, a causa dell'azione meccanica indotta dal cardine superiore ossidato dell'anta del cancello di ingresso.

	
<p><i>Dettaglio angolo nord-est sotto falda</i></p>	<p><i>Fenomeno di disgregazione e lacuna intonaco</i></p>
	
<p><i>Decoesione degli strati di finitura</i></p>	<p><i>Fessura muraria e presenza di intestanti superiori</i></p>



*Dislocazione del tessuto murario di sommità*



*Difetti di adesione della pellicola pittorica*



*Dettaglio lato interno del muro*



*Dettaglio colonna di ingresso fratturata*



*Dettaglio frattura colonna sx e scalzamento del capitello*



*Dettaglio zoccolo esterno colonna di ingresso sx*





*Colonna ingresso sx*



*Dettaglio scagliatura e distacco finitura cementizia*

## **2.2. Strutture metalliche di copertura e barriere perimetrali**

Anche le componenti metalliche che costituiscono la copertura di protezione del lavatoio e le barriere di recinzione sul lato strada risultano fortemente degradate e rimaneggiate, e necessitano di urgenti interventi di recupero.



*Scorcio dell'estradosso della copertura*



*Scorcio dell'intradosso copertura*



*Scorcio della barriera metallica su via Borgo Canale*

La copertura, realizzata con una singola falda ordita a sbalzo dalla parete nord del lavatoio e sostenuta da 4 pregevoli mensole composte da profilati a "T" e in piatto finemente lavorati e sagomati a riprodurre esili volute floreali, presenta gravi problemi di conservazione sia a livello del manto di rivestimento che delle strutture portanti.

Estese zone del manto, composto da lamiere ondulate in acciaio zincato, risultano pesantemente ossidate ed in molti punti consunte e forate, e non svolgono più l'azione di tenuta all'acqua.

Così anche il canale di gronda terminale e la scossalina contro muro sono completamente ricoperti ed intasati da accumuli di particellato e dalla vegetazione e sono largamente consunti e irrimediabilmente danneggiati dall'azione corrosiva dell'acciaio.

Il sottogronda decorativo composto da una lamina finemente lavorata a sbalzo a riprodurre eleganti girali di foglie di acanto risulta purtroppo lacunoso per larghi tratti del perimetro e parzialmente danneggiato per gli elementi rimasti in opera.





*Dettaglio della zona di appoggio del manto sulla mensola*



*Dettaglio delle lamiere di estradosso*



*Dettaglio del canale e del sottogronda*



*Dettaglio del canale e del sottogronda*



*Dettaglio delle mensole di copertura*



*Dettaglio delle mensole di copertura*

La recinzione su via Borgo Canale presenta anch'essa estesi fenomeni di degrado e/o dissesto che rendono necessari ed urgenti interventi di riparazione e conservazione degli elementi. Tutti gli elementi metallici risultano fortemente ossidati con locali fenomeni di forte riduzione della sezione.

Il fenomeno risulta molto grave in corrispondenza degli innesti su muro dei montanti verticali della barriera, con la pressoché totale consunzione della sezione del montante e la rottura del blocchetto metallico di copertura del foro di innesto (rif. Immagini sottostanti).

L'ossidazione sta creando consistenti problemi anche a livello delle zanche di innesto delle due ante del cancello sulle colonne in cemento. Per via dell'azione meccanica di espansione indotta sui blocchi di cls dagli ossidi prodotti nel corso della corrosione si registrano problemi seri di rottura e/o dislocazione dei blocchi lapidei. Tale fenomeno, abbinato all'azione statica e dinamica indotta



dall'apertura dell'anta sulla colonna, sta causando seri problemi di stabilità alle colonne ed in specifico a quella di destra, seriamente lesionata nel fusto intermedio e caratterizzata da un vistoso scalzamento del capitello.



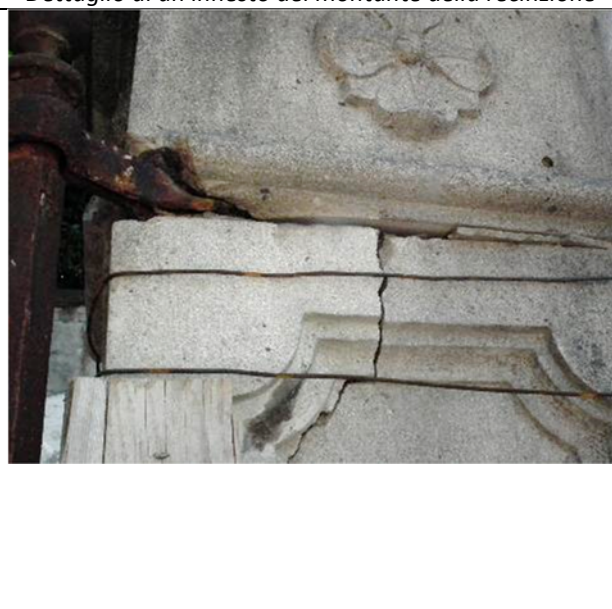
*Dettaglio della barriera metallica*



*Dettaglio di un innesto del montante della recinzione*



*Rottura della colonna*



*Dettaglio dell'innesto superiore dell'anta nella colonna*

### 2.3. Lavatoio e pavimentazioni

La struttura del lavatoio è composta da 6+6 vasche di contenimento in graniglia di cemento prefabbricato affiancate fra loro e addossate sulla parete nord: 6 vasche di accumulo dell'acqua e 6 adiacenti, comunicanti mediante sfioro idraulico, per il lavaggio dei panni.

L'acqua veniva portata alle 6 vasche di accumulo mediante un tubo metallico di adduzione posto orizzontalmente in aderenza alla parete, collegato al bacino idrico adiacente e dotato di stacchi secondari sulle vasche completi di rubinetto terminale.

Ogni vasca è dotata di scarico di fondo per lo smaltimento dell'acqua e sono ancor'oggi presenti alcuni degli elementi accessori in metallo usati per la chiusura dello stesso al fine di poter consentire il riempimento provvisorio del singolo lavabo.

Tutti gli scarichi risultano collegati sotto il piano della pavimentazione mediante un canale di raccolta e convogliamento delle acque, coperto con dei chiusini forati in cemento, che confluisce in un pozzetto di ispezione posto nell'angolo sud-ovest del lavatoio. Dal pozzetto si diparte la

tubazione di scarico esterna che attraversa via Borgo Canale e scende a valle in corrispondenza della via pedonale di Sant'Erasmo.



*Il sistema di vasche affiancate del lavatoio*

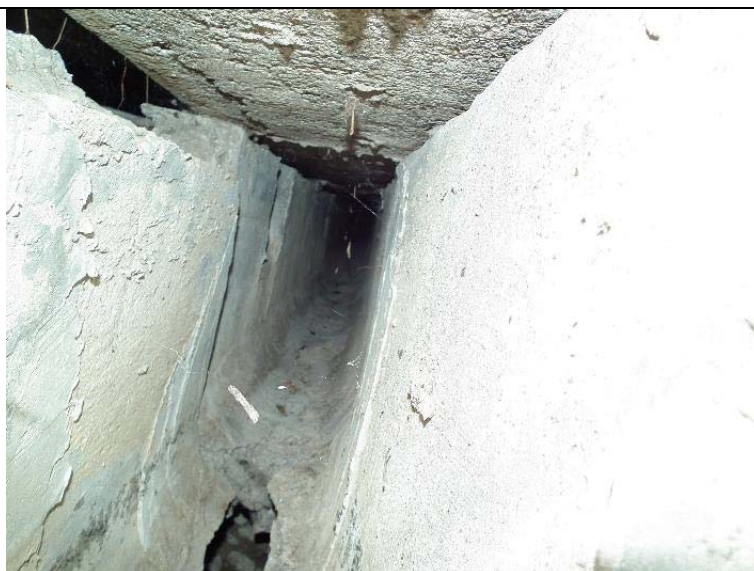


*Basamento rialzato in blocchi di arenaria con canale di scarico esterno*



*Dettaglio del basamento e del canale*





*Dettaglio del canale di gronda sotto pavimento*

La pavimentazione della piazzola interna del lavatoio è costituita da un semplice battuto di cemento impostato su terra. Risulta invece in arenaria il contorno perimetrale del basamento rialzato del lavatoio, realizzato con blocchi squadri lavorati alla martellina ed allettati con malta bastarda di calce e cemento.

Così anche la soglia dell'accesso al lavatoio, posta fra le due colonne di ingresso in cls, è costituita da un unico blocco squadro in arenaria grigia.



*La soglia di ingresso in arenaria*



*Dettaglio del battuto di cemento e delle lastre forate di chiusura del canale di gronda esterno*

Lo stato di conservazione del lavatoio risulta scadente, con le vasche di graniglia che in diversi punti presentano evidenti fenomeni di fratturazione e di scagliatura derivati in parte da alcuni assestamenti del terreno sottostante ed in parte dal fenomeno di 'spalling' indotto dalla corrosione delle armature metalliche interne dei manufatti.

Si rileva in misura diffusa un fenomeno di alterazione cromatica del cemento rosato, che per larghe zone presenta uno sbiancamento indotto probabilmente dall'alterazione del pigmento interno all'impasto degli elementi, e localmente dalla presenza di efflorescenze.

Sono frequenti inoltre, soprattutto nelle zone di maggiore usura meccanica dei lavandini, episodi di erosione della matrice cementizia con conseguente esposizione dell'inerte.

Il sistema di adduzione dell'acqua risulta dismesso e privo di alcuni dei rubinetti terminali sulle vasche, mentre gli elementi accessori di chiusura degli scarichi nei lavelli sono rotti, privi di alcune parti, ovvero totalmente mancanti.

Per quanto concerne il sistema di scarico sotto pavimento si rileva il totale dissesto del pozzetto di raccolta ed ispezione posto nella piazzola, e la rottura di numerose lastre in cls di chiusura della gronda perimetrale di raccolta.

Il battuto di cemento che costituisce la pavimentazione esterna del lavatoio presenta una diffusa condizione di degrado con consistenti depositi di materiale organico e particolato, estesa presenza di vegetazione infestante, numerose fessure e fenomeni di erosione superficiale con esposizione e perdita dell'inerte.

### 3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI RESTAURO E RIFUNZIONALIZZAZIONE

Il progetto prevede in sintesi la realizzazione di un intervento di restauro conservativo delle superfici murarie che perimetrano il lavatoio e lo separano dalla via Borgo Canale, delle vasche in cemento e del relativo basamento in blocchi di arenaria, e di tutte le componenti metalliche “strutturali” che compongono la copertura e la recinzione di lato sud.

Per quanto concerne la copertura, come meglio illustrato nel prosieguo della presente relazione, si rende necessario un intervento di consolidamento strutturale finalizzato al rinforzo di alcuni degli elementi portanti, non in grado di reggere i carichi imposti dalla vigente normativa. L'intervento consisterà nella locale integrazione delle sezioni metalliche esistenti mediante un affiancamento con nuovi elementi di caratteristiche analoghe.

Si prevedono altresì alcune operazioni di riqualificazione e rifunionalizzazione del manufatto consistenti in specifico nel rifacimento della pavimentazione esterna in battuto di cls con un nuovo pavimento di cls avente una maggior valenza estetica; nella sostituzione delle lamiere di rivestimento e degli elementi terminali della copertura con un nuovo sistema in lamiera di zinco-titanio “aggraffata”; nell'installazione di un nuovo impianto di illuminazione architettuale con sensori crepuscolari.

Si riporta di seguito una descrizione sintetica degli interventi previsti in progetto, rimandando per un maggiore dettaglio alle Schede di Restauro predisposte ed allegate in calce alla presente.

#### 3.1. Restauro delle Murature perimetrali e di ingresso

Il restauro delle superfici murarie d'ambito è volto ad arrestare i fenomeni di erosione e degrado, ad eliminare i depositi, la patina biologica e la vegetazione presenti sui paramenti senza intaccare il materiale sottostante, tramite pulitura, rimozione di prodotti incompatibili, stuccatura e consolidamento materico.

Per le aree di muratura caratterizzate dalla presenza di riprese cementizie incompatibili si propone la rimozione meccanica delle stesse mediante attrezzi manuali, ponendo particolare attenzione a non danneggiare il supporto murario sottostante.

Per le parti ad intonaco maggiormente deteriorate caratterizzate da lacune estese e da fenomeni di decoesione e/o distacco dell'intonaco e della pellicola pittorica si propone una pulitura con spazzole morbide e acqua per la rimozione dei depositi e delle parti più deteriorate in fase di distacco. Preliminarmente sarà eseguito in modo diffuso un trattamento di disinfezione con asportazione meccanica della vegetazione e l'applicazione a pennello di biocida.

Nelle zone caratterizzate dalla presenza di efflorescenze saranno effettuate operazioni localizzate di estrazione dei sali mediante impacchi con acqua demineralizzata.

Si procederà quindi con le operazioni di stuccatura delle lacune e delle diverse soluzioni di continuità presenti sugli intonaci con malte compatibili opportunamente campionate, mediante l'applicazione di uno o più strati e la successiva pulitura e revisione cromatica dei bordi di stuccatura.

Al termine delle integrazioni sarà effettuato un riaccordo cromatico complessivo mediante doppia velatura ai silicati di potassio.

#### Affinamento della fase conoscitiva

Le risultanze delle indagini preliminari al progetto saranno ulteriormente approfondite, integrate e verificate in sede operativa attraverso l'esecuzione di alcuni saggi stratigrafici sulle superfici ad intonaco. Ciò consentirà di integrare i dati materiali e storici oggi a disposizione sui fronti, al fine di perfezionare le soluzioni progettuali di restauro proposte.

Le risultanze di tale fase di acquisizione preliminare saranno sottoposte e condivise con gli Organi preposti alla tutela.

Saranno altresì condotte preventive prove per ogni operazione di restauro prevista, su una superficie sufficiente a valutare i risultati (circa 1mq) secondo le indicazioni della D.L.

### 3.2. Restauro del Lavatoio e del basamento in arenaria

Il restauro delle vasche in graniglia del lavatoio è finalizzato alla conservazione delle stesse, mediante operazioni di pulitura del particellato più o meno ancorato mediante spazzole morbide, getto d'acqua a bassa pressione ed eventuale impiego di applicazioni locali con acqua micronizzata mediante nebulizzazione.

Si procederà quindi con le operazioni di microstuccatura delle fessurazioni e di stuccatura delle lacune e delle diverse soluzioni di continuità presenti sugli intonaci con malte compatibili opportunamente campionate, e la successiva pulitura e revisione cromatica dei bordi di stuccatura.

Sul basamento in blocchi di arenaria si procederà attraverso una prima fase di pulitura per l'asportazione dei depositi, a secco con aspiratori, e all'asportazione delle infestanti superiori. Si procederà quindi con l'applicazione diffusa a pennello di biocida, e con l'asportazione manuale dei residui organici rimasti. Al termine del ciclo di disinfezione sarà effettuato un lavaggio con spazzole/spugne. Si eseguiranno quindi operazioni localizzate di microstuccatura degli allettamenti lacunosi e delle limitate fratture presenti con malte compatibili preventivamente campionate.



*Dettaglio di uno dei lavatoi in cemento oggetto di intervento*

Gli elementi in ferro delle vasche saranno sottoposti a una pulitura mediante spazzole leggermente abrasive e/o con applicazione di soluzione di EDTA sale bisodico e tetrasodico, per l'asportazione dei depositi di corrosione e di patine.

Applicazione di un ciclo passivante mediante preventiva applicazione di una mano di minio oleofenolico, e successivo trattamento antiruggine mediante fosfato di zinco in veicolo oleofenolico. Mano di finitura finale con smalto oleofenolico.

Saranno condotte preventive prove per ogni operazione di restauro prevista, su una superficie sufficiente a valutare i risultati (circa 0.50mq) secondo le indicazioni della D.L.



### 3.3. Restauro e consolidamento degli Elementi metallici della copertura

Gli elementi in ferro che compongono la struttura portante della copertura saranno sottoposti a una pulitura con impiego di spazzole leggermente abrasive e/o con applicazione locale di soluzione di EDTA sale bisodico e tetrasodico, per l'asportazione dei depositi di corrosione e di patine, avendo cura di proteggere con idonei teli le strutture murarie adiacenti.

Nelle zone di particolare consunzione delle sezioni resistenti sarà eventualmente valutata l'esecuzione di operazioni locali di reintegrazione della sezione mediante taglio meccanico della zona compromessa con dischi abrasivi di precisione, sagomatura di nuovi elementi in ferro secondo le forme della parte preesistente asportata, posizionamento e collegamento mediante saldatura a completa penetrazione delle stesse, con rifinitura finale delle zone di saldatura mediante micro frese e/o punte abrasive.



*Dettaglio di una zona particolarmente degradata di appoggio inferiore di una mensola portante della copertura*

Per gli elementi portanti risultati non idonei dal punto di vista strutturale, a seguito delle verifiche statiche condotte e riportate nel capitolo successivo, si prevede l'esecuzione degli interventi locali di consolidamento descritti in dettaglio nella Scheda di restauro allegata in calce alla presente.

L'intervento procederà con l'applicazione di un ciclo passivante mediante preventiva applicazione di una mano di minio oleofenolico, ed il successivo trattamento antiruggine mediante fosfato di zinco in veicolo oleofenolico.

La fase finale del lavoro comprenderà la finitura con una mano di smalto oleofenolico nel colore selezionato a seguito di apposita campionatura preventiva.

### 3.4. Restauro degli elementi metallici della recinzione esterna

Gli elementi in ferro che compongono la recinzione esterna, compresa la cancellata dell'ingresso centrale, saranno sottoposti a una pulitura con impiego di spazzole leggermente abrasive e/o con applicazione locale di soluzione di EDTA sale bisodico e tetrasodico, per l'asportazione dei depositi di corrosione e di patine, avendo cura di proteggere con idonei teli le strutture murarie adiacenti.

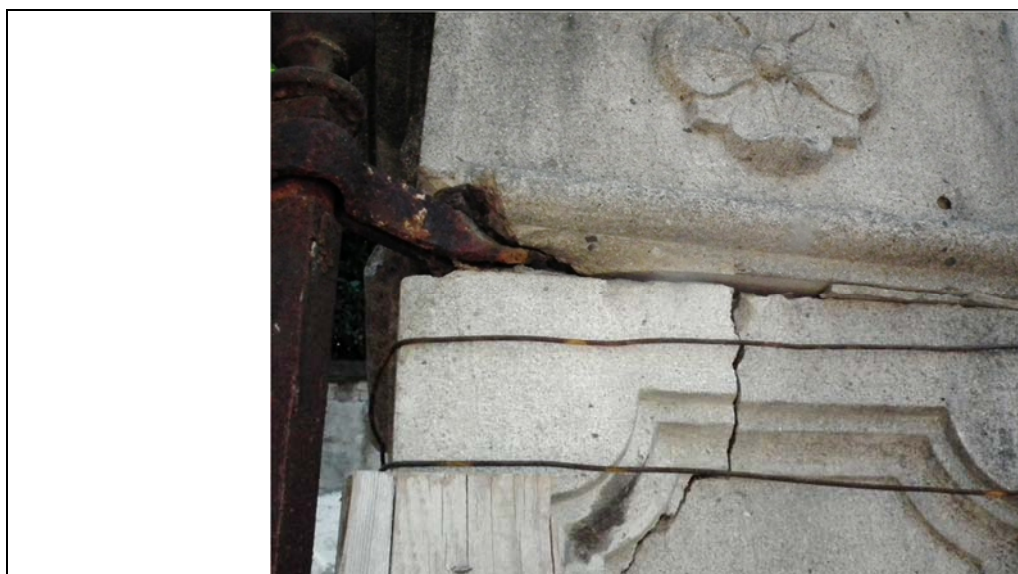
Nelle zone di particolare consunzione delle sezioni resistenti si eseguiranno operazioni locali di reintegrazione della sezione mediante taglio meccanico della zona compromessa con dischi abrasivi



di precisione, sagomatura di nuovi elementi in ferro secondo le forme della parte preesistente asportata, posizionamento e collegamento mediante saldatura a completa penetrazione delle stesse, con rifinitura finale delle zone di saldatura mediante micro frese e/o punte abrasive.

Il cardine superiore dell'alta destra del cancello sarà oggetto di una apposita verifica della parte innestata nella colonna. Si procederà quindi alla rimozione provvisoria del capitello soprastante e alla verifica delle condizioni della zanca metallica di innesto, prevedendo la sua eventuale sostituzione nel caso di rottura o eccessivo deterioramento.

Sarà quindi eseguito il corretto inghisaggio del perno metallico nel fusto della colonna mediante malta espansiva e si procederà al consolidamento dello spigolo lesionato della colonna mediante incollaggio con resina e l'inserimento di perni passanti in acciaio inox. Si procederà quindi alla ricollocazione del capitello mediante idoneo imperniaggio con perni inox dello stesso sul fusto, e mediante allettamento con malta strutturale tixotropica di allettamento.



*Dettaglio della zona di innesto della cancellata dx sulla colonna con la rottura dello spigolo inferiore e lo scalzamento del capitello*

L'intervento procederà con l'applicazione su tutte le parti metalliche di un ciclo passivante mediante preventiva applicazione di una mano di minio oleofenolico, ed il successivo trattamento antiruggine mediante fosfato di zinco in veicolo oleofenolico.

La fase finale del lavoro comprenderà la finitura con una mano di smalto oleofenolico nel colore selezionato a seguito di apposita campionatura preventiva.

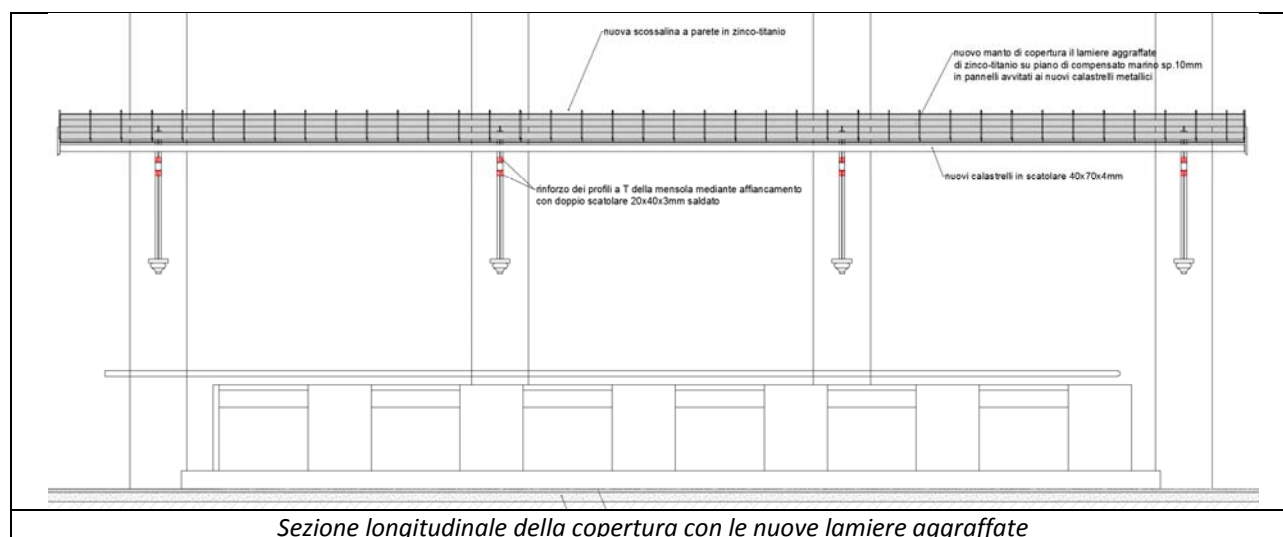
### **3.5. Interventi di riqualificazione del lavatoio**

Il progetto contempla ulteriormente i seguenti interventi di recupero funzionale e riqualificazione del manufatto, finalizzati da un lato alla sostituzione di quegli elementi che ormai risultano compromessi, e chiamati dall'altro ad una valorizzazione della struttura sotto il profilo della sua percezione, della sua conoscenza e del suo potenziale riutilizzo da parte della collettività.

La priorità in questo senso è certamente data alla sostituzione del sistema di rivestimento della copertura e di raccolta delle acque meteoriche, oggi completamente compromesso e principale causa della marcata progressione registrata dei fenomeni di degrado del lavatoio.

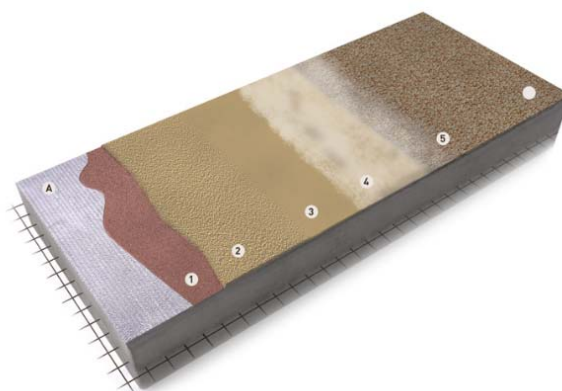
Il progetto prevede dunque l'integrale sostituzione dell'attuale manto di copertura in lamiera ondulata, con un nuovo sistema basato sull'impiego di lastre aggraffate in zinco-titanio, pressoché esenti da problemi di ossidazione/degrado, impostate su un piano continuo sottostante in pannelli di legno compensato marino di 10mm di spessore, avvitati sulla sottostruttura metallica.

Si prevede inoltre la sostituzione del canale di gronda esterno e della scossalina di attacco a parete mediante elementi sagomati in zinco-titanio delle medesime dimensioni di quelli attualmente esistenti.



Per quanto riguarda la pavimentazione esterna in cemento esistente e il canale di raccolta delle acque piovane si prevede:

- la parziale sostituzione delle lastre forate di cls di chiusura del canale che risultano rotte e non recuperabili, con nuovi elementi prefabbricati di caratteristiche analoghe;
- verifica e pulizia del canale sotto pavimento con sistemazione del pozzetto interrato;
- demolizione del pavimento esistente in battuto di cemento;
- formazione di nuovo pavimento in calcestruzzo con inerte a vista (rif. Immagini di riferimento allegate);

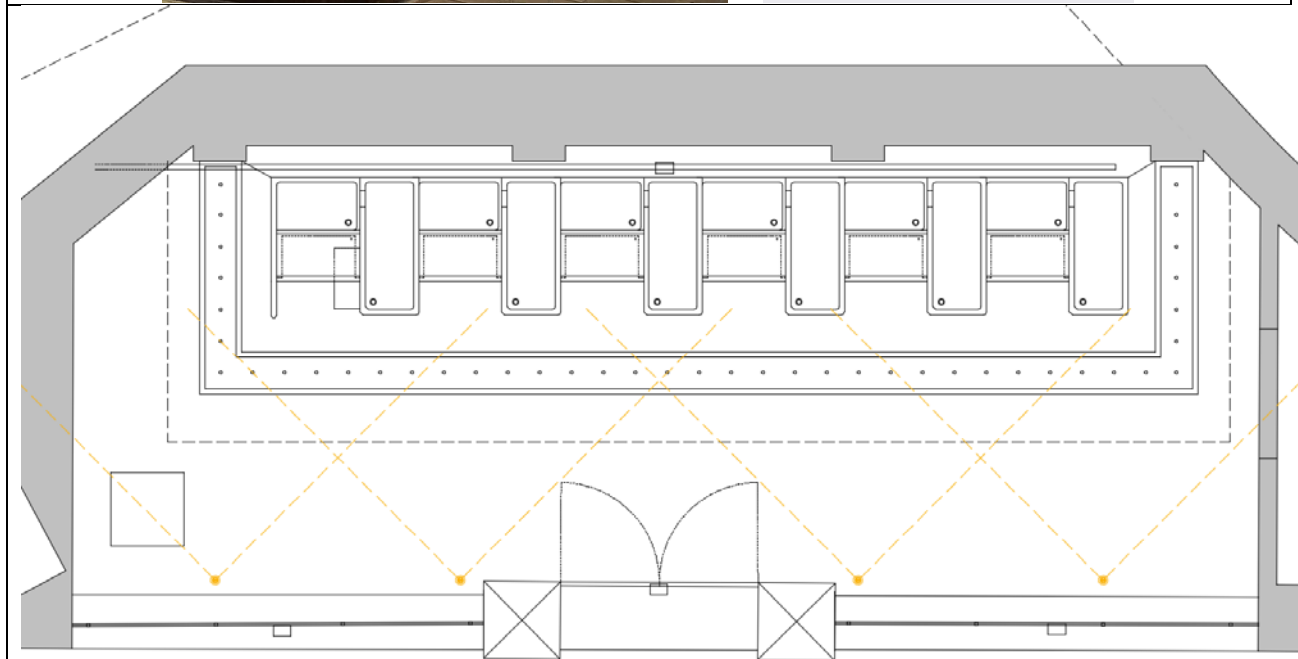
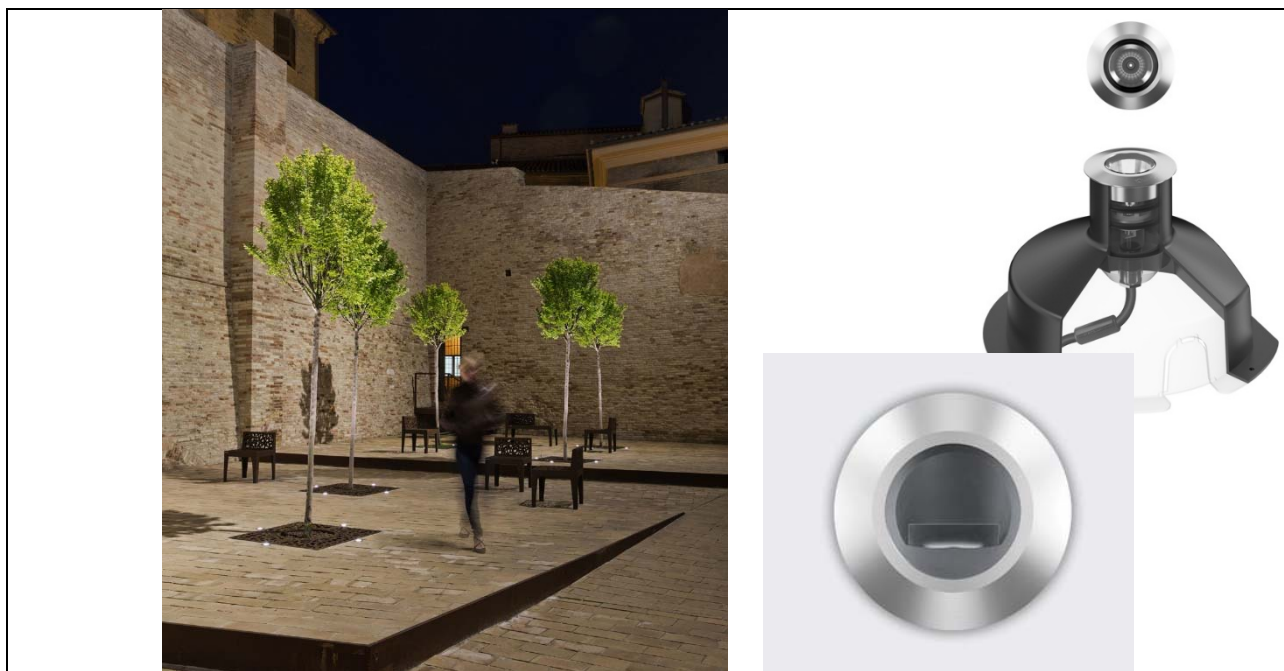


*A. Formazione di nuovo massetto in cls sp.10cm*

1. Stesura primer d'aggancio
2. Stesura impasto Sassoitalia
3. Lisciatura
4. Applicazione disattivatore superficiale
5. Lavaggio

*Tipologia di pavimento in cls previsto*

A livello del nuovo pavimento saranno infine installati 4 corpi illuminanti ad incasso di piccolo diametro (50mm) del tipo "i-Guzzini Light Up Orbit" riportato di seguito, funzionali all'illuminazione serale e notturna del lavatoio, comandati mediante un sensore crepuscolare installato sulla copertura.



*Tipologia e posizionamento dei corpi luce a pavimento*

#### 4. VERIFICA DELLA COPERTURA E PROGETTO DEGLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO

Si riportano di seguito gli esiti delle verifiche condotte sugli elementi strutturali che compongono la copertura a sbalzo del lavatoio e il progetto dei conseguenti interventi di consolidamento previsti.

##### 4.1. RIFERIMENTI NORMATIVI E TECNICI

Le analisi e le verifiche esposte nella presente relazione fanno espresso riferimento ai seguenti riferimenti tecnici e/o normativi, e alle seguenti linee di indirizzo:

- D.M. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 17.01.2018: “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni”
- Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2 febbraio 2009 n. 617, C.S.LL.PP. “Istruzioni per l’applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008”;
- Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 09.02.2011: “Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti del 14 gennaio 2008”;
- Circolare n. 26, Prot. 10953 del 2 dicembre 2010, del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, "Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineate alle nuove Norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008)";
- Consiglio Nazionale delle Ricerche, CNR-DT 200/2013, “Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l’utilizzo di Compositi Fibrorinforzati - Materiali, strutture in c.a. e in c.a.p., strutture murarie”;
- Documento approvato il 24 luglio 2009 dall’Assemblea Generale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, "Linee guida per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Collaudo di Interventi di Rinforzo di strutture di c.a., c.a.p. e murarie mediante FRP";
- "Linee Guida per la riparazione e il rafforzamento di elementi strutturali, tamponature e partizioni" (agosto 2009), Dipartimento Protezione Civile, ReLUIS.

Costituiscono inoltre utile riferimento le seguenti norme:

- Legge 5 novembre 1971 n. 1086, “Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica”;
- D.M. 20 Novembre 1987, “Norme Tecniche per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento”;
- Circ. Min. LL.PP. 4 Gennaio 1989 n. 30787, “Istruzioni in merito alle Norme Tecniche per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento”;
- Circolare Ministero LL.PP. 10 aprile 1997 n. 65, AA.GG/STC. “Istruzioni per l’applicazione delle «Norme per le costruzioni in zone sismiche» di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996”;
- CNR-UNI 10011/97, “Costruzioni in acciaio - Istruzioni per il calcolo, l’impiego e la manutenzione”;
- O.P.C.M. 3274 - 20.03.2003 e ss.mm.ii.: “primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”;
- Decreto del Commissario Delegato per gli interventi di protezione civile n.28 del 10.04.2002 – Regione Marche: Repertorio dei meccanismi di danno, delle tecniche di intervento e dei relativi costi negli edifici in muratura;
- UNI ENV 1993-1-1 – Eurocodice 3: Progettazione delle strutture in acciaio;
- UNI ENV 1996-1-1:1998 – Eurocodice 6 - Progettazione delle strutture di muratura - Parte 1-1: Regole generali per gli edifici - Regole per la muratura armata e non armata.

## 4.2. PARAMETRI DI CALCOLO ASSUNTI

Vengono di seguito specificati i parametri numerici assunti alla base delle calcolazioni effettuate ed esposte nei paragrafi successivi.

### 4.2.1. Periodo di riferimento del progetto (§ 2.4.3 NTC 18)

Sulla base di quanto riportato nelle premesse ed in accordo con quanto previsto dalle NTC si determina di seguito il periodo di riferimento assunto per le analisi e le verifiche di sicurezza in oggetto.

La vita nominale dell'opera è assunta pari a:

$V_n \geq 50$  anni                      "Opere ordinarie"

Il fattore Classe d'uso è assunto pari a:

$C_u = 1$                                   "Classe II"

Ne consegue un Periodo di riferimento di progetto pari a:

$V_r = 50$  anni

VITA NOMINALE $V_N$	VALORI DI $V_R$			
	CLASSE D'USO			
	I	II	III	IV
$\leq 10$	35	35	35	35
$\geq 50$	$\geq 35$	$\geq 50$	$\geq 75$	$\geq 100$
$\geq 100$	$\geq 70$	$\geq 100$	$\geq 150$	$\geq 200$

### 4.2.2. Livello di conoscenza e Fattori di confidenza (p.to C8.A.1.A Circolare 617/09)

Sulla base degli approfondimenti eseguiti si assumono i seguenti Livelli di conoscenza:

Livello di conoscenza assunto: LC1

Ne deriva un corrispondente Fattore di confidenza pari a:

Fattore di confidenza assunto: FC = 1.35



Tabella C8A.1.1 – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti valori dei fattori di confidenza per edifici in muratura

Livello di Conoscenza	Geometria	Dettagli costruttivi	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Rilievo muratura, volte, solai, scale. Individuazione carichi gravanti su ogni elemento di parete Individuazione tipologia fondazioni. Rilievo eventuale quadro fessurativo e deformativo.	verifiche in situ limitate	Indagini in situ limitate  Resistenza: valore minimo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1	Tutti	1.35
LC2		verifiche in situ estese ed esaustive	Indagini in situ estese  Resistenza: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1		1.20
LC3			Indagini in situ esaustive  -caso a) (disponibili 3 o più valori sperimentali di resistenza) Resistenza: media dei risultati delle prove Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1  -caso b) (disponibili 2 valori sperimentali di resistenza) Resistenza: se valore medio sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, valore medio dell'intervallo di Tabella C8A.2.1; se valore medio sperimentale maggiore di estremo superiore intervallo, quest'ultimo; se valore medio sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore medio sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a).  -caso c) (disponibile 1 valore sperimentale di resistenza) Resistenza: se valore sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, oppure superiore, valore medio dell'intervallo; se valore sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a).		1.00

#### 4.2.3. Proprietà dei materiali – Materiali esistenti in opera

In funzione del livello di conoscenza raggiunto, vengono definiti i valori caratteristici dei parametri meccanici.

Vengono quindi determinati i valori di calcolo tali parametri mediante l'applicazione del fattore parziale di sicurezza " $\gamma_m$ " e dell'ulteriore fattore di confidenza " $F_c$ " sopra indicato.

$\gamma_m = 1.05$  per verifiche allo SLU

$F_c = 1.35$

Si assumono quindi i seguenti parametri di design:

Tipo di acciaio	Fe 360	
Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk}$	235	N/mm <sup>2</sup>
Tensione caratteristica di rottura $f_{tk}$	$\geq 360$	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento di calcolo $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_m \times F_c$	166	N/mm <sup>2</sup>
Peso specifico	$\delta_s = 7.850$	kg /m <sup>3</sup>
Modulo di elasticità normale, E	210.000	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente di Poisson, $\nu$	0,3	-
Modulo di elasticità trasversale, $G = E / [2 (1 + \nu)]$	80.796	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente di espansione termica, $\alpha$	$12 \times 10^{-6}$	-

#### 4.3. AZIONI SOLLECITANTI DI PROGETTO

La copertura viene cimentata dalle azioni sollecitanti previste dalla norma e riportate nei punti successivi.

Vengono introdotte le seguenti azioni:

- $G_{k1}$ : pesi propri strutturali
- $G_{k2}$ : sovraccarichi permanenti
- $Q_{nk}$ : sovraccarico da neve
- $Q_{vk}$ : Azione da vento

Le azioni sopracitate vengono combinate reciprocamente in funzione dei diversi Stati Limite considerati.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.2)$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.3)$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.4)$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.5)$$

#### 4.3.1. PESI PROPRI STRUTTURALI – G<sub>k1</sub>

I pesi propri degli elementi strutturali vengono inputati di volta in volta nelle analisi a seconda delle strutture considerate.

Nelle analisi condotte con codice di calcolo numerico vengono inputati direttamente dal programma.

#### 4.3.2. SOVRACCARICHI PERMANENTI – G<sub>k2</sub>

I sovraccarichi permanenti sono quelli determinati dal nuovo manto di copertura e pari a:

$$G_{k2} = 10 \text{ daN/m}^2$$

#### 4.3.3. SOVRACCARICO DA NEVE - Q<sub>nk</sub>

Il sovraccarico da neve è pari a:

$$Q_{nk} = 143 \text{ daN/m}^2$$

## 4 CARICO NEVE SULLA COPERTURA E COMBINAZIONI DI CARICO

$$q_s \text{ (carico neve sulla copertura [N/m}^2\text{])} = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$$

$\mu_i$  (coefficiente di forma)

$q_{sk}$  (valore caratteristico della neve al suolo [kN/m<sup>2</sup>])

$C_E$  (coefficiente di esposizione)

$C_t$  (coefficiente termico)

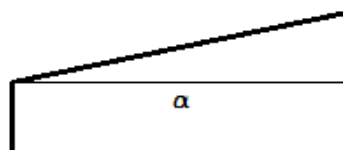
### 4.1 Combinazione per il caso di copertura ad una falda

Inclinazione falda	15 [deg]
--------------------	----------

1,43 kN/mq

$\mu_1$

$\mu_1$	0,80
---------	------



### 4.3.4. SOVRACCARICO DA VENTO - $Q_{vk}$

Il sovraccarico da vento è pari a:

$$Q_{nk} = 97 \text{ daN/m}^2$$

#### PRESSIONI DEL VENTO

Combinazione più sfavorevole per pareti e copertura:

Valori massimi della pressione per ogni elemento

$p$  (pressione del vento) =  $q \cdot c_d \cdot c_t \cdot c_e \cdot c_p$

$c_d$  (coefficiente dinamico)     $c_t$  (coefficiente topografico)     $c_e$  (coefficiente di esposizione)

$c_p$  (coefficiente di forma)

	$p$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$c_d$	$c_t$	$c_e$	$c_p$	$P$ [kN/m <sup>2</sup> ]
(1) par. sopravent.	0,391	1,00	1,00	1,634	0,00	0,00
(2) cop. sopravent.	0,391	1,00	1,00	1,634	1,51	0,97
(3) cop. Sottovent.	0,391	1,00	1,00	1,634	0,00	0,00
(4) par. sottovent.	0,391	1,00	1,00	1,634	0,00	0,00

(2) copertura sopravento

± 0,97 kN/mq

→  
Direzione del vento →  
→

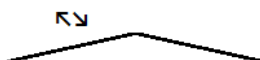


Valori medi della pressione per ogni elemento (da utilizzare per caricare il modello FEM)

(2) copertura sopravento

± 0,93 kN/mq

→  
Direzione del vento →  
→



#### 4.4. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA ATTUALE DELLA STRUTTURA

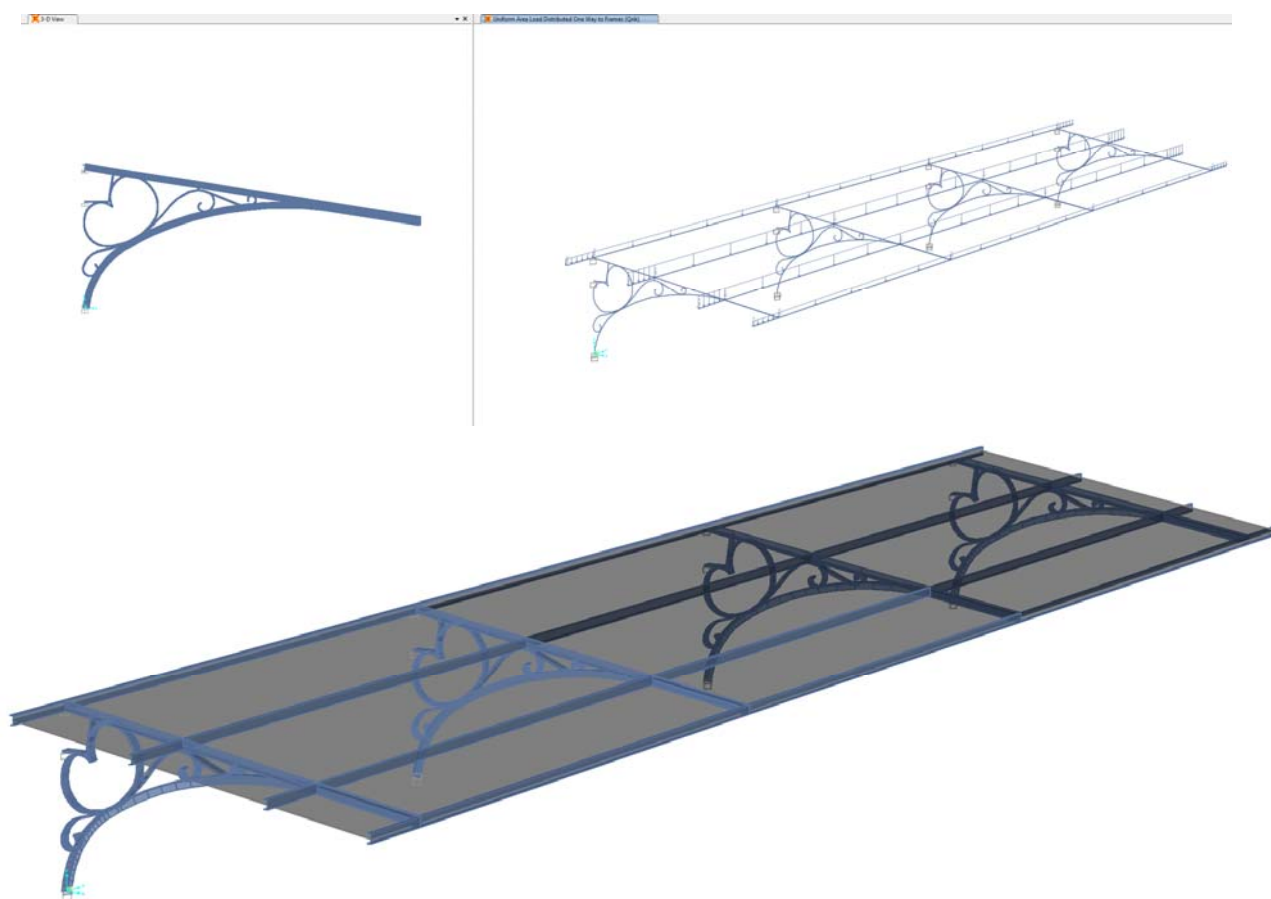
Vengono eseguite le analisi e le verifiche della copertura nelle sue attuali condizioni al fine di determinare gli odierni livelli di sicurezza della stessa nei riguardi delle sollecitazioni di progetto.

##### 4.4.1. MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA

La modellazione della struttura viene eseguita mediante un approccio in campo lineare agli elementi finiti, con il codice di calcolo "SAP 2000 r20" della CSI Berkeley.

Modello numerico:

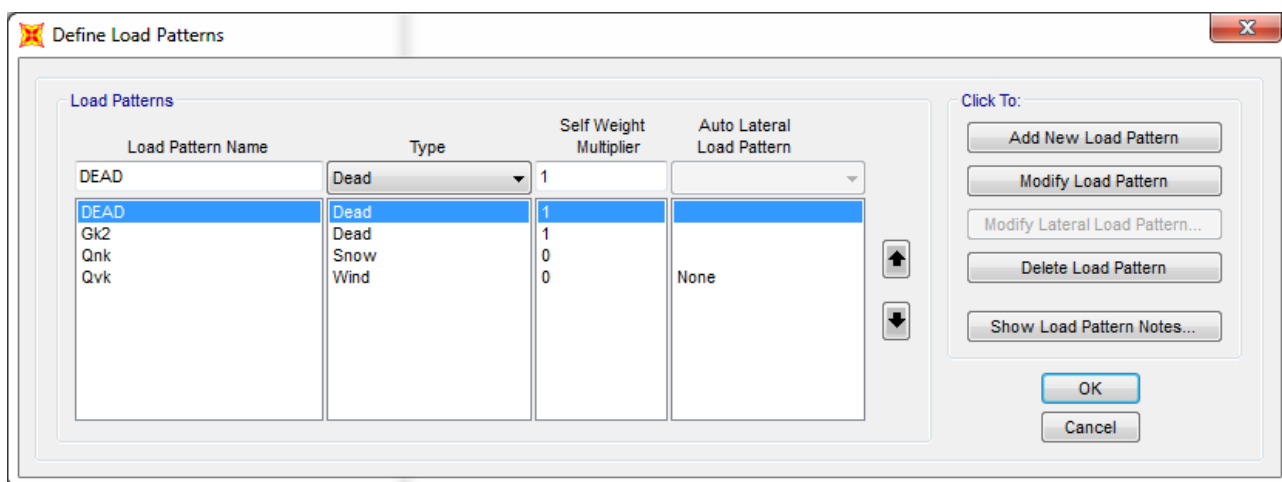
E' stato implementato un modello tridimensionale complessivo della copertura basato su elementi bidimensionali di tipo "frame" come illustrato di seguito.



*Vista del modello numerico*

Il modello viene caricato secondo gli schemi di carico riportati di seguito, con l'applicazione di carichi lineari sui calastrelli longitudinali della falda.





#### 4.4.2. TIPI DI ANALISI CONDOTTE

Si riportano di seguito gli esiti delle analisi condotte.

Si rimanda ai tabulati allegati alla presente relazione per il dettaglio degli stessi esiti (rif. Schede di Output "RL.001.OUT.01\_00")

Sono state condotte le seguenti analisi:

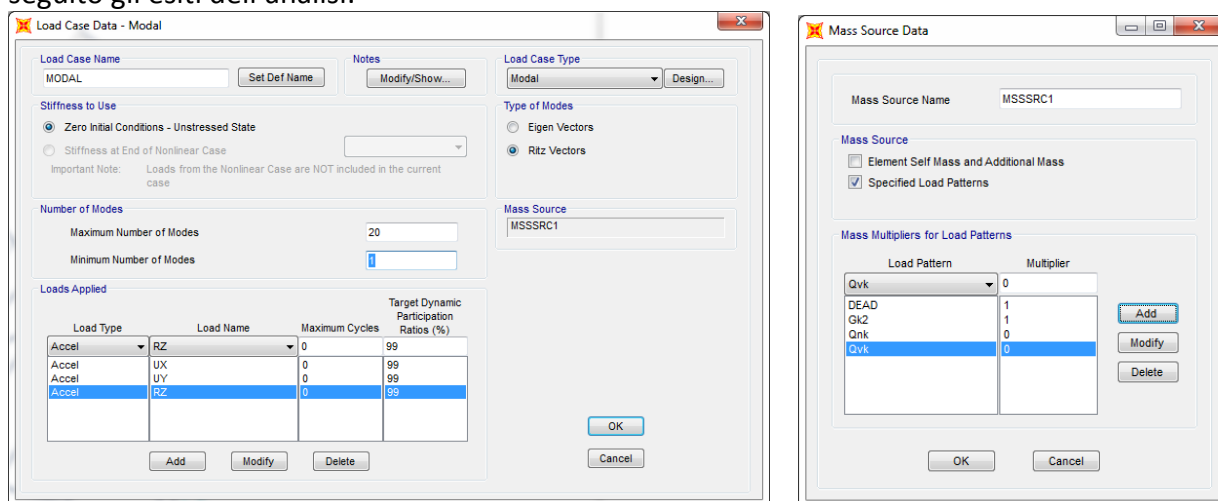
- Analisi delle frequenze proprie
- Analisi statica in combinazione fondamentale SLU
- Analisi statica in combinazione di esercizio rara SLE
- Analisi di instabilità

##### 4.4.2.1. Analisi delle frequenze proprie

Le masse inerziali utilizzate per la caratterizzazione dinamica della struttura sono quelle previste dalla norma in 2.5.3:

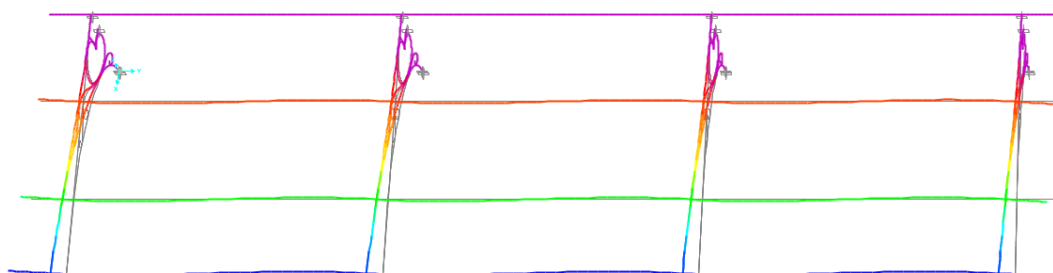
$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} .$$

Di seguito gli esiti dell'analisi:



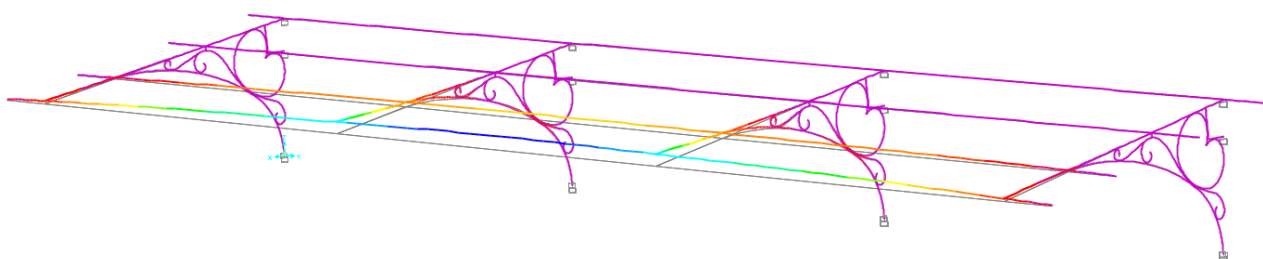
Parametri di analisi – Frequenze proprie struttura

Deformed Shape (MODAL) - Mode 1; T = 0.42342; f = 2.36174



Deformata di primo modo – sbandamento laterale:  $T = 0.42 \text{ sec}$

Deformed Shape (MODAL) - Mode 2; T = 0.17235; f = 5.80219



Deformata di secondo modo – oscillazione verticale:  $T = 0.17 \text{ sec}$

OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless	SumUZ Unitless	RX Unitless	RY Unitless	RZ Unitless	SumRX Unitless	SumRY Unitless	SumRZ Unitless
MODAL	Mode	1	0.423416	0	0.57	0	0	0.57	0	0.0001235	0	0.03427	0.0001235	0	0.03427
MODAL	Mode	2	0.172349	0.02344	0	0.26	0.02344	0.57	0.26	0	0.47	0	0.0001235	0.47	0.03427
MODAL	Mode	3	0.159386	9.243E-20	2.4E-06	0	0.02344	0.57	0.26	0.2	1.2E-20	0.03371	0.2	0.47	0.06798
MODAL	Mode	4	0.156968	1.081E-18	3.744E-07	1.079E-20	0.02344	0.57	0.26	0.001706	1.389E-19	0.05818	0.2	0.47	0.12
MODAL	Mode	5	0.154384	0.07397	0	0.000104	0.09741	0.57	0.26	1.607E-18	0.003541	2.396E-18	0.2	0.48	0.12
MODAL	Mode	6	0.15057	8.829E-18	1.337E-08	2.553E-20	0.09741	0.57	0.26	0.0323	2.092E-19	0.0401	0.23	0.48	0.16
MODAL	Mode	7	0.148949	0.13	0	0.000976	0.22	0.57	0.26	5.698E-19	0.003704	1.118E-18	0.23	0.48	0.16
MODAL	Mode	8	0.12521	2.282E-19	1.669E-06	1.225E-20	0.22	0.57	0.26	0.0003171	4.207E-20	0.05654	0.23	0.48	0.22
MODAL	Mode	9	0.123943	2.107E-17	8.966E-05	4.438E-19	0.22	0.57	0.26	0.01687	1.659E-18	0.02585	0.25	0.48	0.25
MODAL	Mode	10	0.123799	0.14	1.479E-20	0.003429	0.36	0.57	0.26	2.617E-18	0.01197	5.315E-18	0.25	0.49	0.25
MODAL	Mode	11	0.105277	1.139E-17	0.00302	1.03E-17	0.36	0.58	0.26	0.04727	8.213E-19	0.003804	0.3	0.49	0.25
MODAL	Mode	12	0.104524	0.003899	1.511E-17	0.003883	0.37	0.58	0.27	1.392E-16	0.0003139	8.136E-18	0.3	0.49	0.25
MODAL	Mode	13	0.102215	2.39E-20	0.15	3.143E-20	0.37	0.72	0.27	0.0004258	0	0.01043	0.3	0.49	0.26
MODAL	Mode	14	0.066402	0	0.01545	0	0.37	0.74	0.27	0.001927	0	0.001787	0.3	0.49	0.26
MODAL	Mode	15	0.056621	2.676E-19	0.01366	3.448E-18	0.37	0.75	0.27	8.935E-05	8.875E-19	0.02396	0.3	0.49	0.29
MODAL	Mode	16	0.054461	0.005207	1.585E-18	0.07929	0.37	0.75	0.35	1.995E-19	0.0215	1.474E-18	0.3	0.52	0.29
MODAL	Mode	17	0.046276	4.024E-20	0.03747	9.049E-19	0.37	0.79	0.35	2.837E-05	2.995E-19	0.0001319	0.3	0.52	0.29
MODAL	Mode	18	0.021467	1.718E-19	0.06627	1.088E-19	0.37	0.86	0.35	0.002543	5.036E-20	0.02946	0.3	0.52	0.32
MODAL	Mode	19	0.019446	1.439E-17	0.002511	3.515E-19	0.37	0.86	0.35	0.01534	1.596E-19	0.16	0.32	0.52	0.48
MODAL	Mode	20	0.018843	0.16	6.024E-19	2.531E-05	0.53	0.86	0.35	2.182E-18	5.078E-05	1.437E-17	0.32	0.52	0.48

#### 4.4.2.2. Analisi in combinazione fondamentale - SLU

E' stata analizzata la seguente combinazione di carico fondamentale:

**Load Combination Data**

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

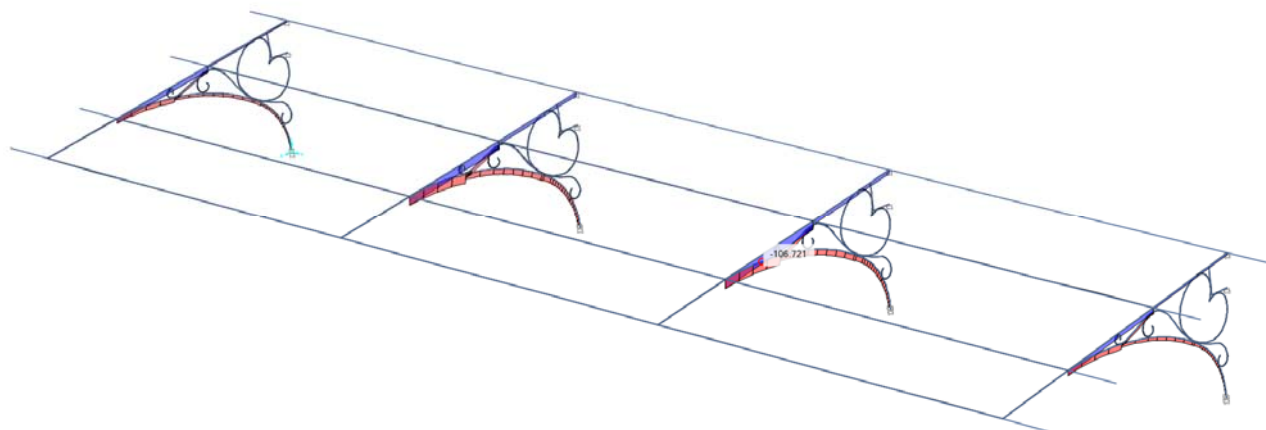
Load Combination Type

Options

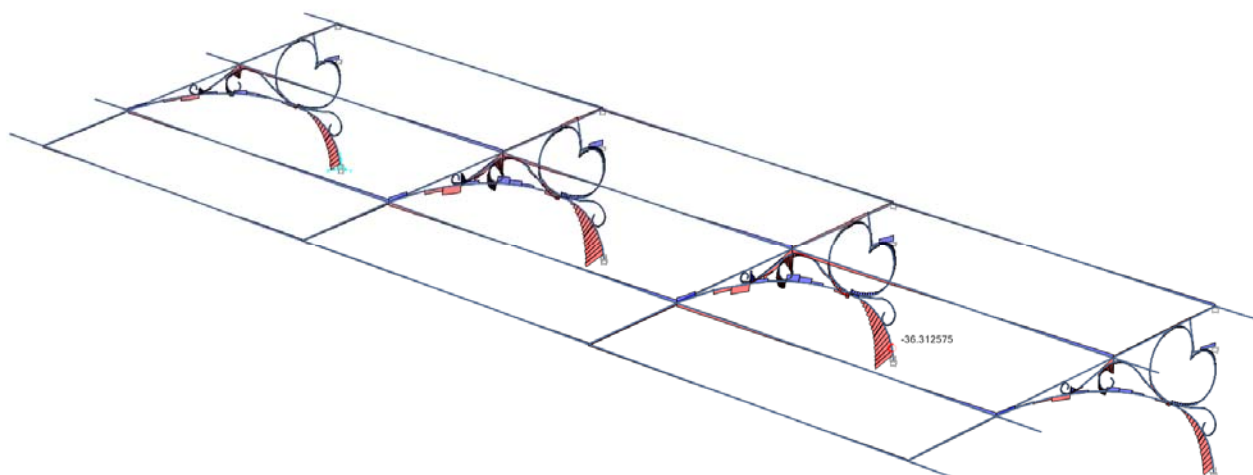
Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
Qvk	Linear Static	0,9
DEAD	Linear Static	1,3
GK2	Linear Static	1,5
Qnk	Linear Static	1,5
Qvk	Linear Static	0,9

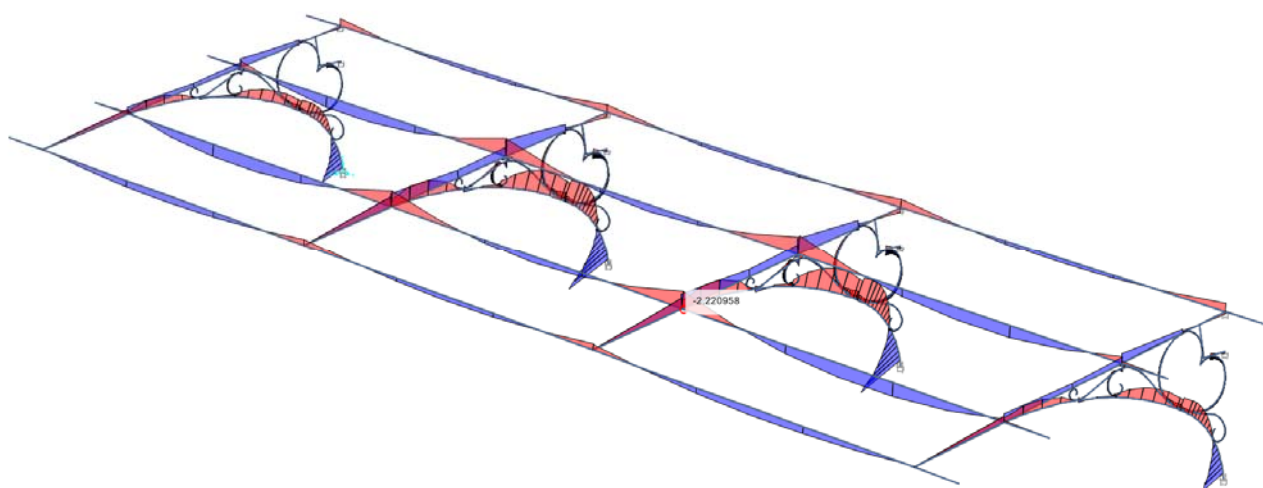
Si riporta di seguito una sintesi degli esiti ottenuti.



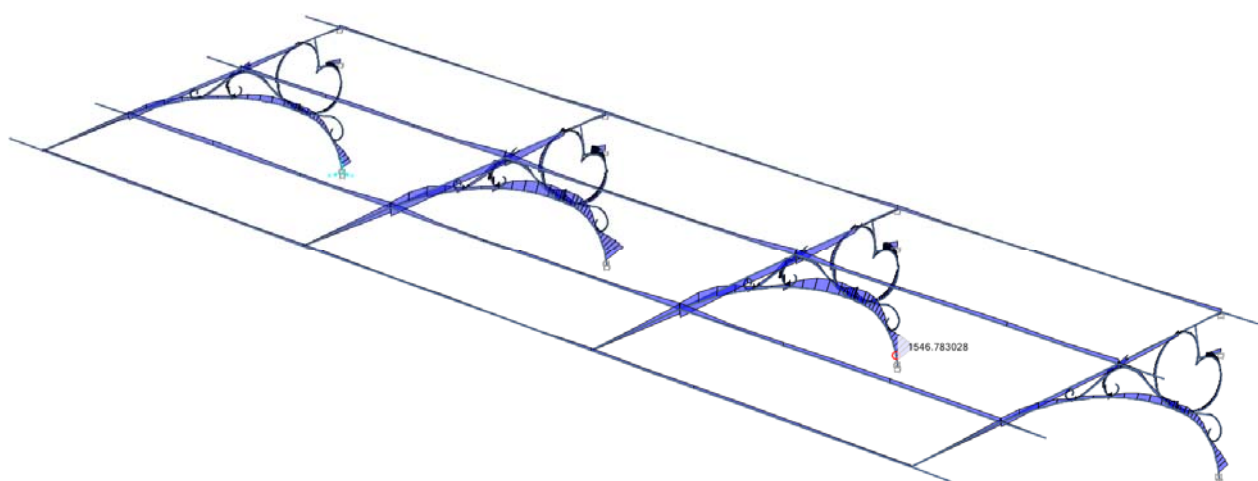
Combinazione statica allo SLU - Diagramma azioni assiali [KN-m]



Combinazione statica allo SLU - Diagramma azioni taglianti V22 [KN-m]



*Combinazione statica allo SLU - Diagramma azioni flettenti M33 [KN-m]*



*Combinazione statica allo SLU - Diagramma sforzo combinato di Von Mises SVM [N/mm<sup>2</sup>]*



#### 4.4.2.3. Analisi in combinazione rara - SLE

E' stata analizzata la seguente combinazione di carico fondamentale:

**Load Combination Data**

Load Combination Name (User-Generated) SLE rara

Notes

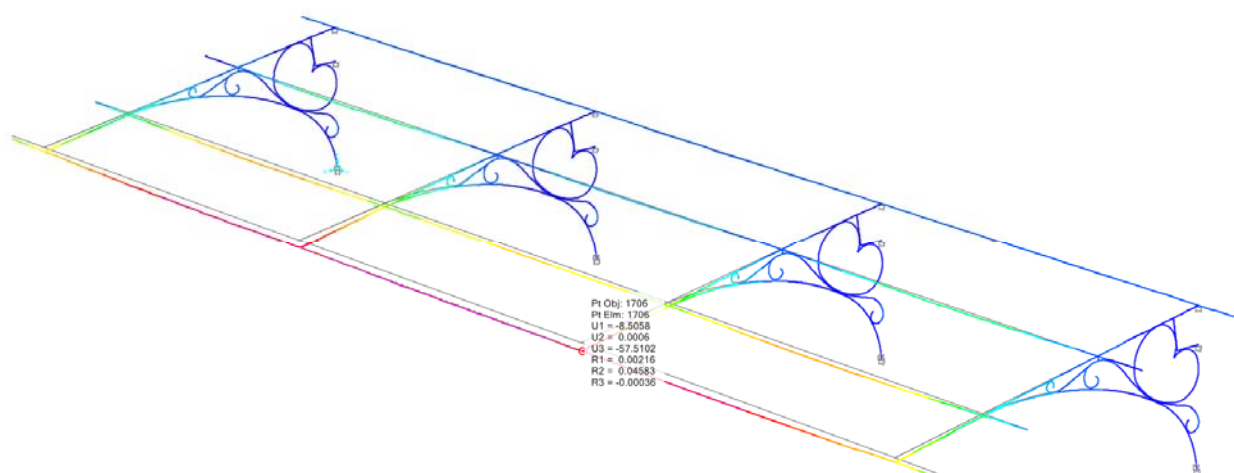
Load Combination Type Linear Add

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
Qvk	Linear Static	0
DEAD	Linear Static	1
GK2	Linear Static	1
Qnk	Linear Static	1
Qvk	Linear Static	0

Si riporta di seguito una sintesi degli esiti ottenuti in termini di deformazioni della struttura.



*Combinazione statica allo SLE rara – Deformata elastica della struttura [mm]*

#### 4.4.3. VERIFICHE STRUTTURALI E VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI SICUREZZA

Si riporta di seguito una sintesi delle calcolazioni e delle verifiche effettuate sugli elementi strutturali più significativi, secondo la norma vigente.

Tutte le verifiche sono comunque disponibili presso lo scrivente.

Si espone secondo il seguente criterio:

- Stati limite ultimi SLU – Verifiche di resistenza
- Verifiche in SLE – Verifica di limitazione delle deformazioni

##### 4.4.3.1. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI – SLU

Viene riportata di seguito una sintesi delle verifiche condotte sugli elementi strutturali allo stato limite ultimo, in coerenza con la norma vigente. Per ogni dettaglio si faccia riferimento all'allegato di calcolo "RL.001.OUT.01\_00".

Le verifiche vengono condotte mediante l'ausilio del codice di calcolo SAP 2000 – R20, sulla base delle specifiche di seguito riportate.

### 5.5 Stazioni di progetto

Per ogni combinazione di carico, ogni elemento viene progettato e/o verificato in un numero predefinito di stazioni distribuite in modo equidistante su tutta la sua lunghezza. Il numero di stazioni per ogni elemento frame può essere impostato dall'utente, prima di effettuare l'analisi della struttura, attraverso il menu **Assign > Frame > Output Stations**.

### 5.6 Gerarchia delle resistenze

I più importanti codici normativi a livello internazionale prevedono che la progettazione sismica delle strutture sia basata sul criterio della gerarchia delle resistenze. SAP2000 integra pienamente tali indicazioni effettuando, per tutte le combinazioni sismiche selezionate, una progettazione in grado di garantire il soddisfacimento delle prescrizioni sismiche con riferimento alle seguenti tipologie strutturali:

- strutture a telaio
- strutture con controventi concentrici
- strutture con controventi eccentrici

#### 7.10.7 Strutture a controventi concentrici in CDB

Le strutture a controventi concentrici in classe di duttilità bassa (CDB) possono essere calcolate unicamente in accordo all'EC3, senza prescrizioni aggiuntive.

Si riporta di seguito una sintesi delle assunzioni e delle verifiche condotte sui diversi elementi della struttura metallica in esame.

Per maggiori dettagli si faccia riferimento all'allegato di calcolo in calce alla presente.

**Steel Frame Design Preferences for Eurocode 3-2005**

Item	Value
1 Design Code	Eurocode 3-2005
2 Country	CEN Default
3 Combinations Equation	Eq. 6.10
4 Reliability Class	Class 2
5 Interaction Factors Method	Method 2 (Annex B)
6 Multi-Response Case Design	Envelopes
7 Framing Type	DCH-MRF
8 Behavior Factor, q	4,
9 System Overstrength Factor, Omega	1,
10 Consider P-Delta Done?	No
11 Consider Torsion?	No
12 GammaM0	1,05
13 GammaM1	1,05
14 GammaM2	1,25
15 Ignore Seismic Code?	Yes
16 Ignore Special Seismic Load?	No
17 Is Doubler Plate Plug-Welded?	Yes
18 Consider Deflection?	No
19 DL Limit, L/	120,
20 Super DL+LL Limit, L/	120,
21 Live Load Limit, L/	360,
22 Total Limit, L/	240,
23 Total-Camber Limit, L/	240,

**Item Description**  
Toggle to consider whether the seismic part of the code should be considered in design. This is either "No" or "Yes".

**Explanation of Color Coding for Values**  
**Blue:** Default Value  
**Black:** Not a Default Value  
**Red:** Value that has changed during the current session

Set To Default Values: **All Items** Selected Items

Reset To Previous Values: **All Items** Selected Items

OK Cancel

*Impostazioni di verifica della struttura secondo la normativa EC03*

**Design Load Combinations Selection**

**Load Combinations for Design**

Select Type of Design Load Combination  
Load Combination Type: Strength

**Select Load Combinations**

List of Load Combinations: SLE rara

Design Load Combinations: SLU

Add -> <- Show...

**Automatic Design Load Combinations**

☒ Automatically Generate Code-Based Design Load Combinations

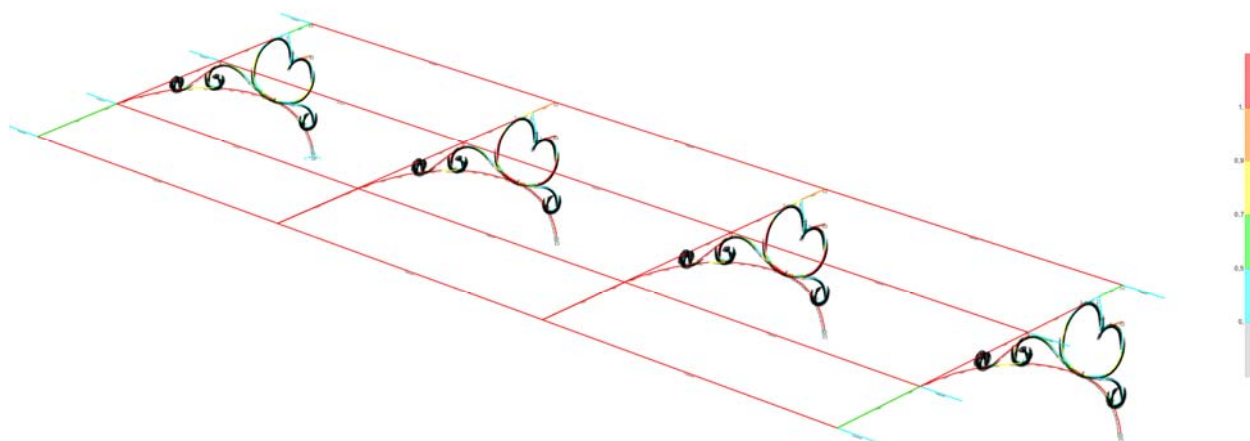
Set Automatic Design Load Combination Data...

OK Cancel

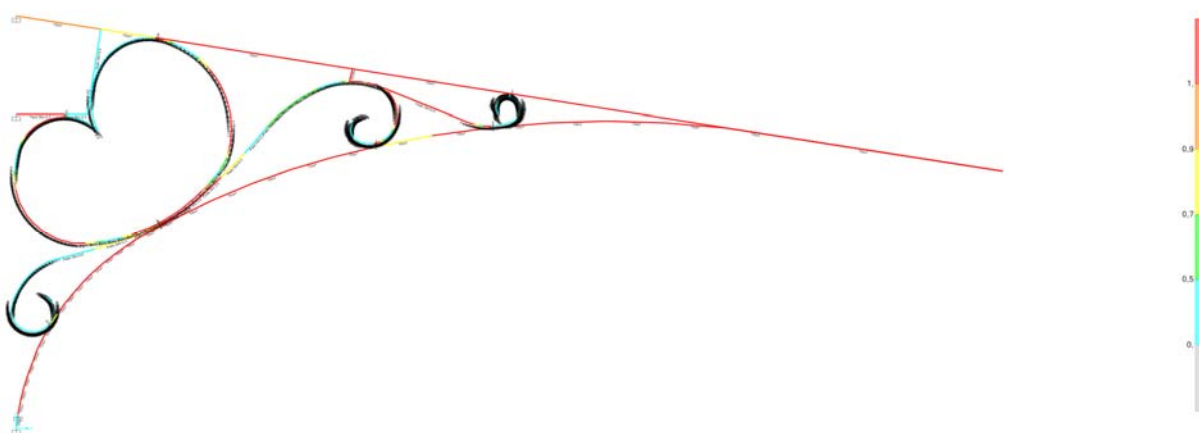
*Combinazioni di carico assunte per le verifiche*

Le schermate sotto riporta la mappatura di ogni elemento nei riguardi di tale verifica ed il relativo fattore di utilizzo dell'elemento.

$$F_s = E_d / R_d$$



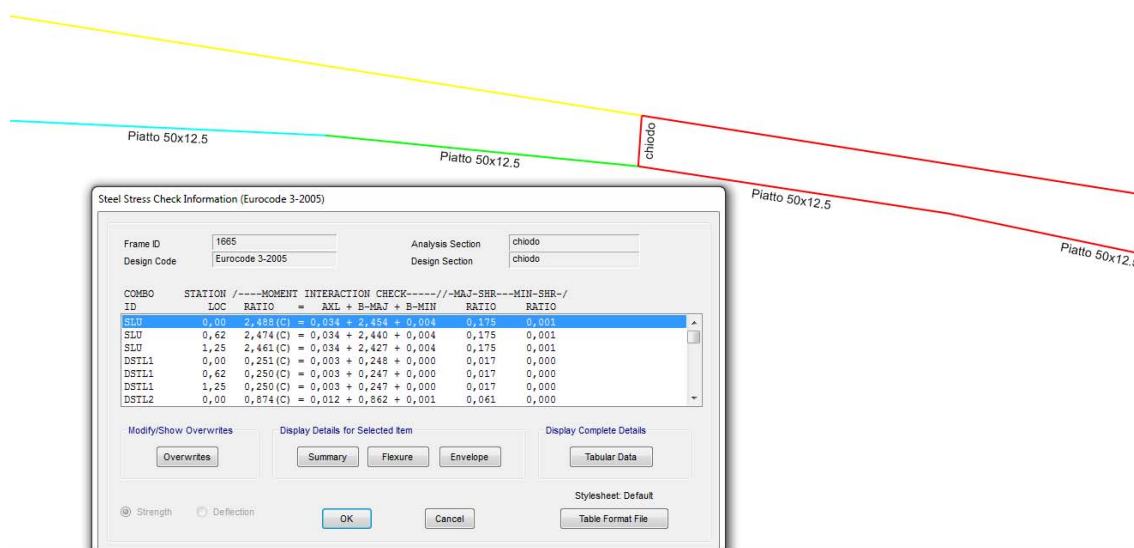
Mappatura di sintesi delle verifiche condotte con tasso di sfruttamento degli elementi



Come ben visibile dalla mappatura soprastante e come del resto prevedibile la pressoché totalità degli elementi, con sporadiche eccezioni relegate agli elementi di estremità dei calastrelli e delle mensole, NON RISULTA VERIFICATA e non è pertanto in grado di reggere i carichi di progetto.

### Chiodature inter-elemento

Le stesse chiodature di collegamento fra gli elementi delle mensole risultano sovra-sollecitate e non rispettano le verifiche di norma.



Dettaglio verifica chiodo di collegamento interno



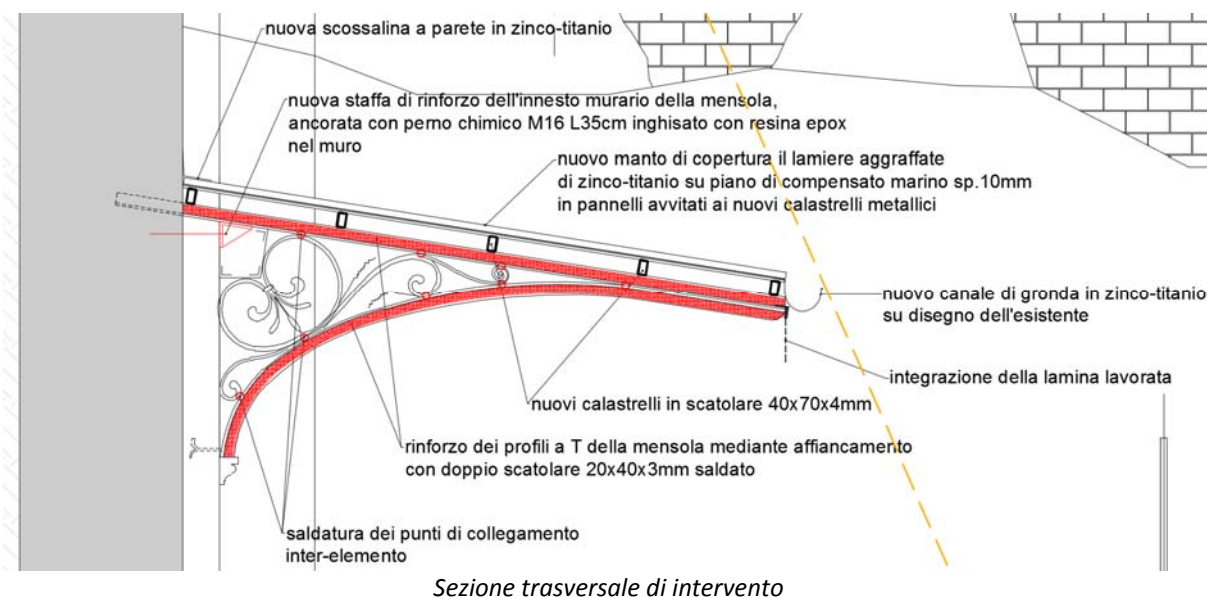
Alla luce degli esiti delle verifiche sopra sintetizzati si può confermare la necessità di un generalizzato intervento di consolidamento delle strutture portanti della copertura, finalizzato a consentire il rispetto delle prescrizioni normative attuali.

#### 4.5. PROGETTO DELL'INTERVENTO DI RINFORZO

Le pesanti non conformità registrate sulla struttura in termini di verifica ai carichi statici imposti dalla vigente normativa impongono il progetto e l'esecuzione di un intervento di rinforzo della stessa.

Stanti le caratteristiche della copertura e le carenze rilevate si prevedono le seguenti misure di rinforzo:

- Sostituzione dei calastrelli di falda esistenti con nuovi profilati a sezione scatolare 30x60x5mm in acciaio S275;
- Rinforzo dei profilati a T delle mensole mediante affiancamento con doppio scatolare 20x40x3mm saldato;
- Rinforzo delle giunzioni chiodate interne delle mensole mediante integrazioni con giunzioni saldate;
- Inserimento di controventi di falda in piatto 50x4mm nella campata centrale;
- Rinforzo degli ancoraggi murari mediante inserimento di nuovi perni chimici nella muratura



*Sezione trasversale di intervento*

Gli interventi previsti consentiranno di incrementare la portanza della copertura nei confronti delle sollecitazioni previste dalla normativa.

##### 4.5.1. TIPI DI ANALISI CONDOTTE

Si riportano di seguito gli esiti delle analisi condotte.

Si rimanda ai tabulati allegati alla presente relazione per il dettaglio degli stessi esiti (rif. Schede di Output "RL.001.OUT.01\_00")

Sono state condotte le seguenti analisi:

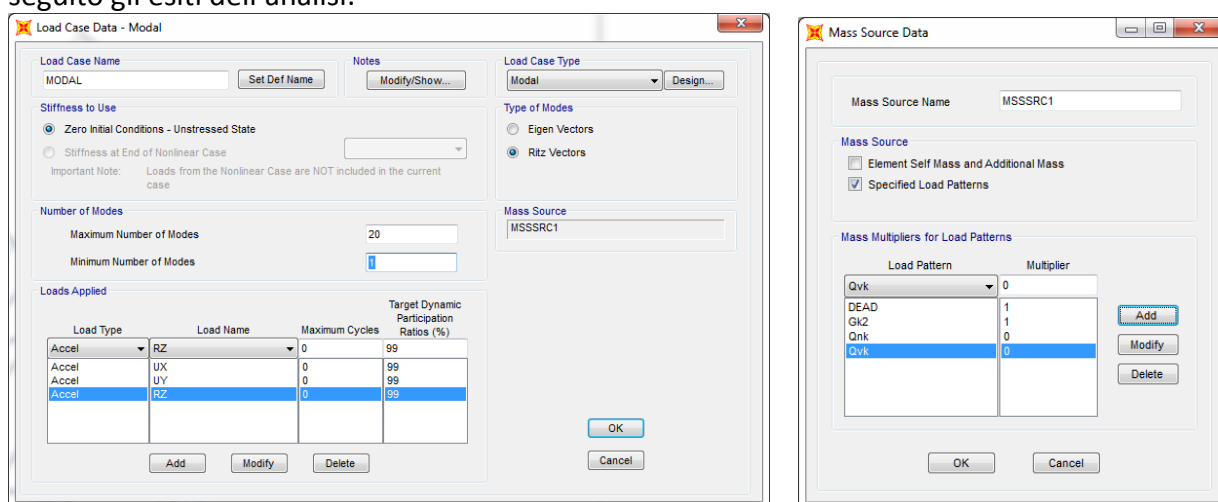
- Analisi delle frequenze proprie
- Analisi statica in combinazione fondamentale SLU
- Analisi statica in combinazione di esercizio rara SLE
- Analisi di instabilità

#### 4.5.1.1. Analisi delle frequenze proprie

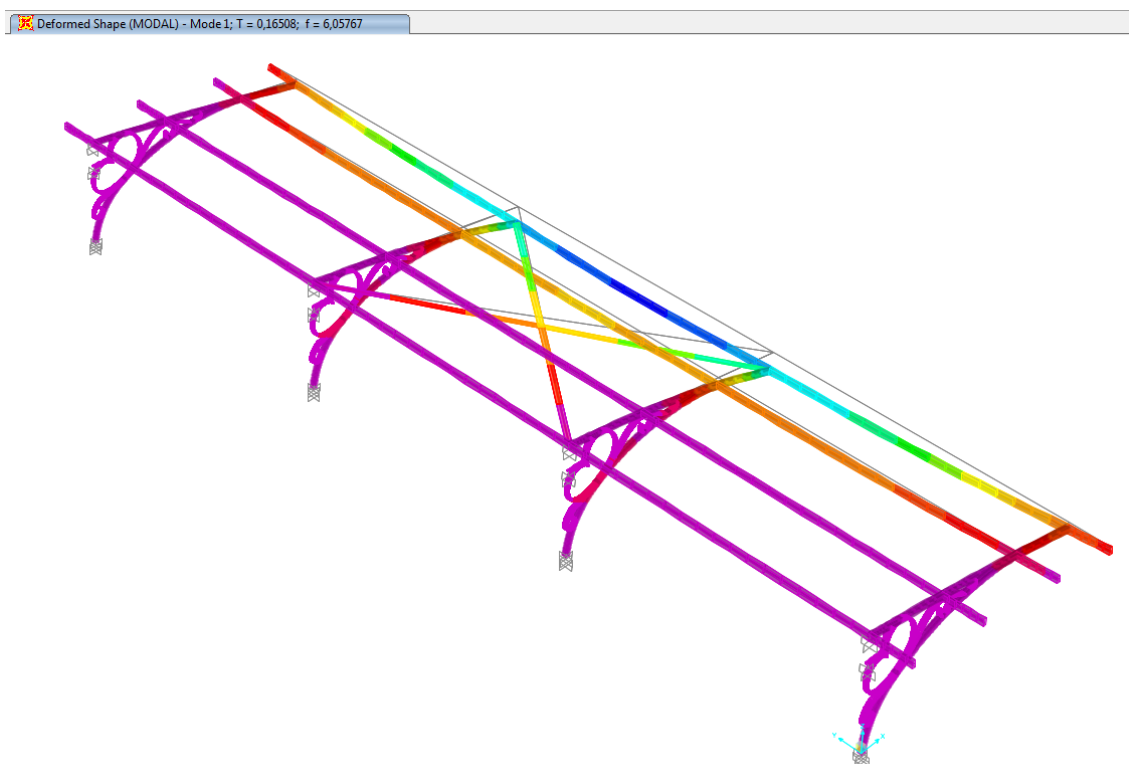
Le masse inerziali utilizzate per la caratterizzazione dinamica della struttura sono quelle previste dalla norma in 2.5.3:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}.$$

Di seguito gli esiti dell'analisi:

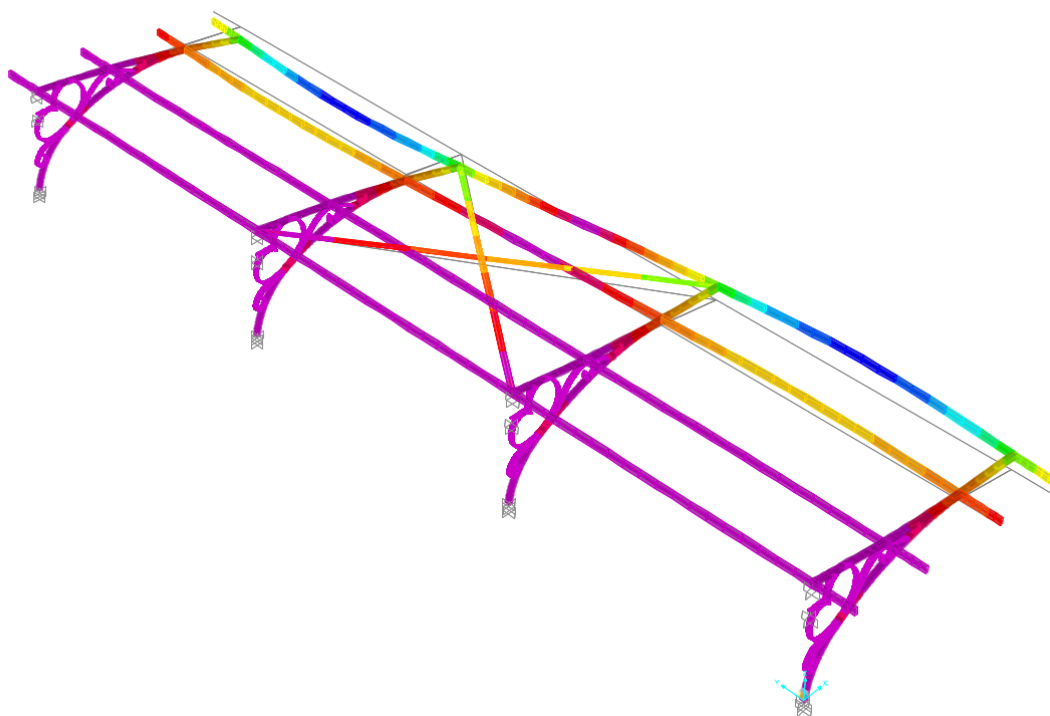


Parametri di analisi – Frequenze proprie struttura



Deformata di primo modo – oscillazione verticale:  $T = 0.16$  sec

Deformed Shape (MODAL) - Mode 2; T = 0,14774; f = 6,76843



Deformata di secondo modo – oscillazione disaccoppiata:  $T = 0.15$  sec

OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless	SumUZ Unitless	RX Unitless	RY Unitless	RZ Unitless	SumRX Unitless	SumRY Unitless	SumRZ Unitless
MODAL	Mode	1	0,16508	0,01165	0	0,31	0,01165	0	0,31	0	0,52	0	0	0,52	0
MODAL	Mode	2	0,147745	0	4,913E-05	0	0,01165	4,913E-05	0,31	0,27	0	0,01033	0,27	0,52	0,01033
MODAL	Mode	3	0,122479	0,002294	0	0,04489	0,01395	4,913E-05	0,35	0	0,0704	0	0,27	0,59	0,01033
MODAL	Mode	4	0,101555	0	0,003036	0	0,01395	0,003085	0,35	0,06387	0	0,002596	0,33	0,59	0,01293
MODAL	Mode	5	0,09139	0,007021	0	0,001266	0,02097	0,003085	0,35	0	0,003831	0	0,33	0,59	0,01293
MODAL	Mode	6	0,089201	0	0,55	0	0,02097	0,55	0,35	0,0006383	0	0,0009061	0,33	0,59	0,01383
MODAL	Mode	7	0,087974	0	0,07994	0	0,02097	0,63	0,35	0,0005232	0	0,04662	0,33	0,59	0,06045
MODAL	Mode	8	0,084722	7,407E-20	0,0001204	0	0,02097	0,63	0,35	0,0006197	0	0,0538	0,34	0,59	0,11
MODAL	Mode	9	0,083196	0,18	0	0,0003012	0,2	0,63	0,35	0	0,002389	1,883E-20	0,34	0,59	0,11
MODAL	Mode	10	0,074258	0	0,0007018	0	0,2	0,64	0,35	0,0172	0	0,08196	0,35	0,59	0,2
MODAL	Mode	11	0,072547	0,16	0	0,001764	0,36	0,64	0,36	5,044E-20	0,00574	6,05E-20	0,35	0,6	0,2
MODAL	Mode	12	0,07222	7,666E-19	0,0001239	0	0,36	0,64	0,36	0,008019	4,441E-20	0,01569	0,36	0,6	0,21
MODAL	Mode	13	0,052069	0	6,023E-05	2,37E-20	0,36	0,64	0,36	7,215E-06	4,042E-20	0,005884	0,36	0,6	0,22
MODAL	Mode	14	0,036352	2,179E-20	0,03584	1,062E-19	0,36	0,67	0,36	1,335E-05	0	0,0001216	0,36	0,6	0,22
MODAL	Mode	15	0,034254	0,01344	3,71E-20	0,05309	0,37	0,67	0,41	1,588E-18	0,003185	4,908E-18	0,36	0,6	0,22
MODAL	Mode	16	0,033748	1,247E-18	0,0003987	4,697E-18	0,37	0,67	0,41	0,01805	4,286E-19	0,05248	0,38	0,6	0,27
MODAL	Mode	17	0,026173	1,502E-20	0,0975	1,727E-20	0,37	0,77	0,41	1,631E-06	3,153E-20	0,01958	0,38	0,6	0,29
MODAL	Mode	18	0,017253	4,079E-20	0,09398	0	0,37	0,86	0,41	0,00281	3,947E-20	0,008147	0,38	0,6	0,3
MODAL	Mode	19	0,010762	1,369E-17	0,00574	2,082E-19	0,37	0,87	0,41	0,003604	1,476E-19	0,31	0,39	0,6	0,61
MODAL	Mode	20	0,010294	0,27	1,934E-19	0,005732	0,64	0,67	0,41	3,011E-19	0,0004438	1,747E-17	0,39	0,6	0,61

L'introduzione dei controventi di falda consente di eliminare lo sbandamento laterale della copertura.

#### 4.5.1.2. Analisi in combinazione fondamentale - SLU

E' stata analizzata la seguente combinazione di carico fondamentale:

**Load Combination Data**

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

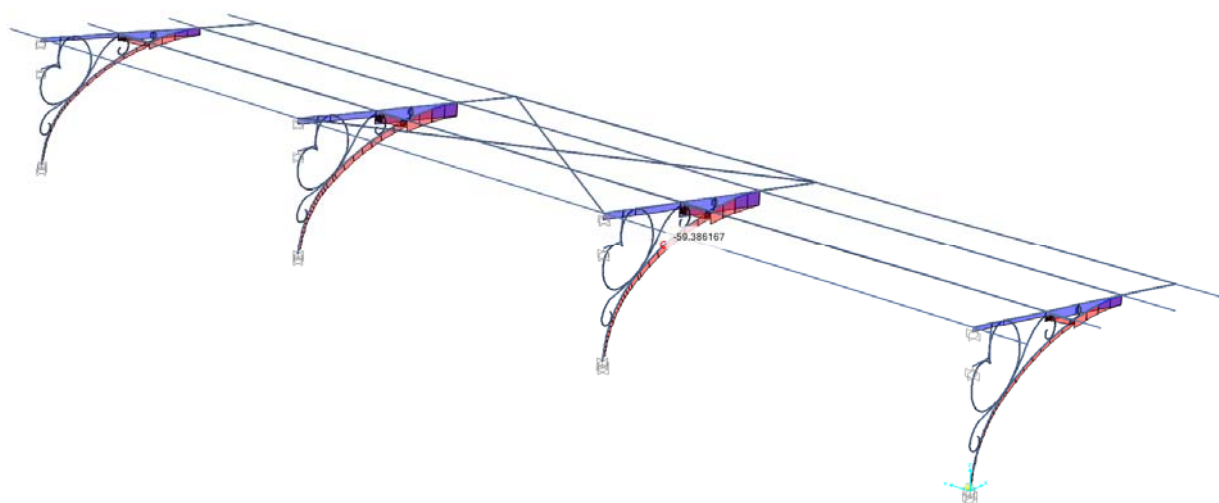
Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

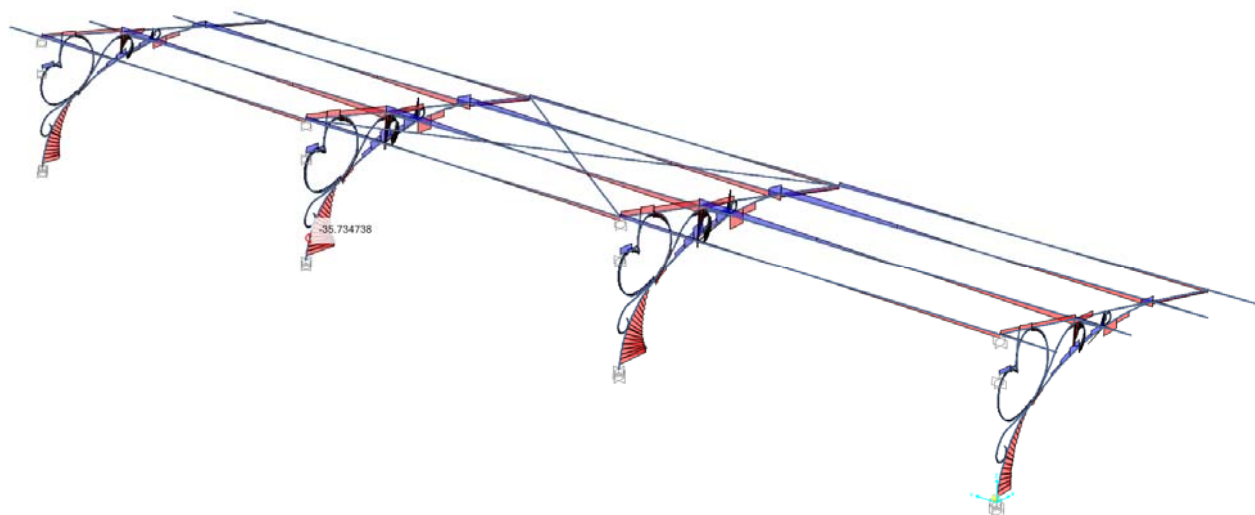
Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
Qvk	Linear Static	0,9
DEAD	Linear Static	1,3
GK2	Linear Static	1,5
Qnk	Linear Static	1,5
Qvk	Linear Static	0,9

Si riporta di seguito una sintesi degli esiti ottenuti.

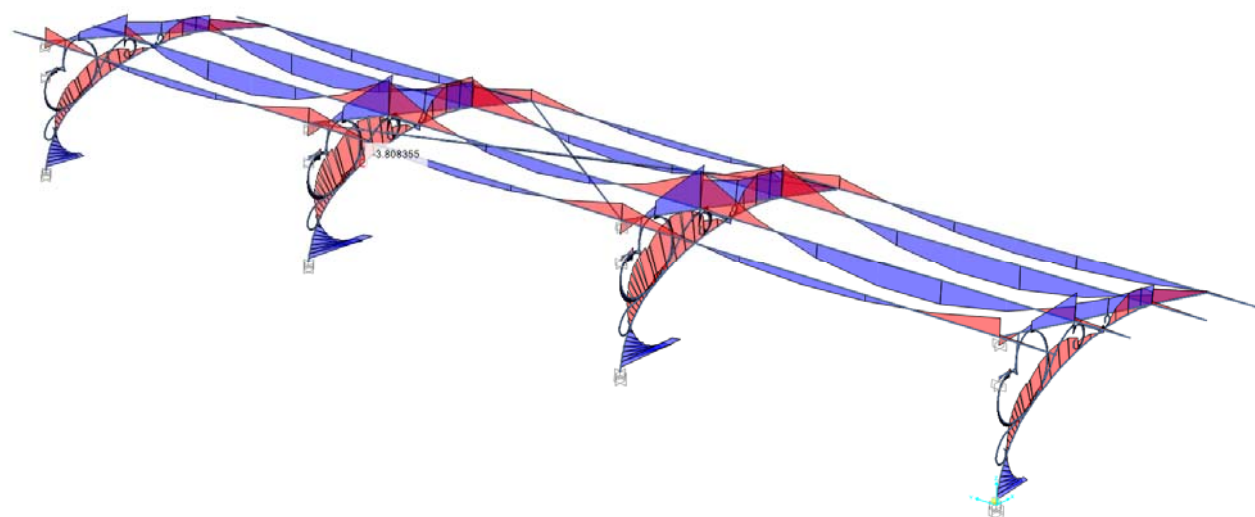


Combinazione statica allo SLU - Diagramma azioni assiali [KN-m]





*Combinazione statica allo SLU - Diagramma azioni taglianti V22 [KN-m]*



*Combinazione statica allo SLU - Diagramma azioni flettenti M33 [KN-m]*

#### 4.5.1.3. Analisi in combinazione rara - SLE

E' stata analizzata la seguente combinazione di carico fondamentale:

**Load Combination Data**

Load Combination Name (User-Generated) SLE rara

Notes

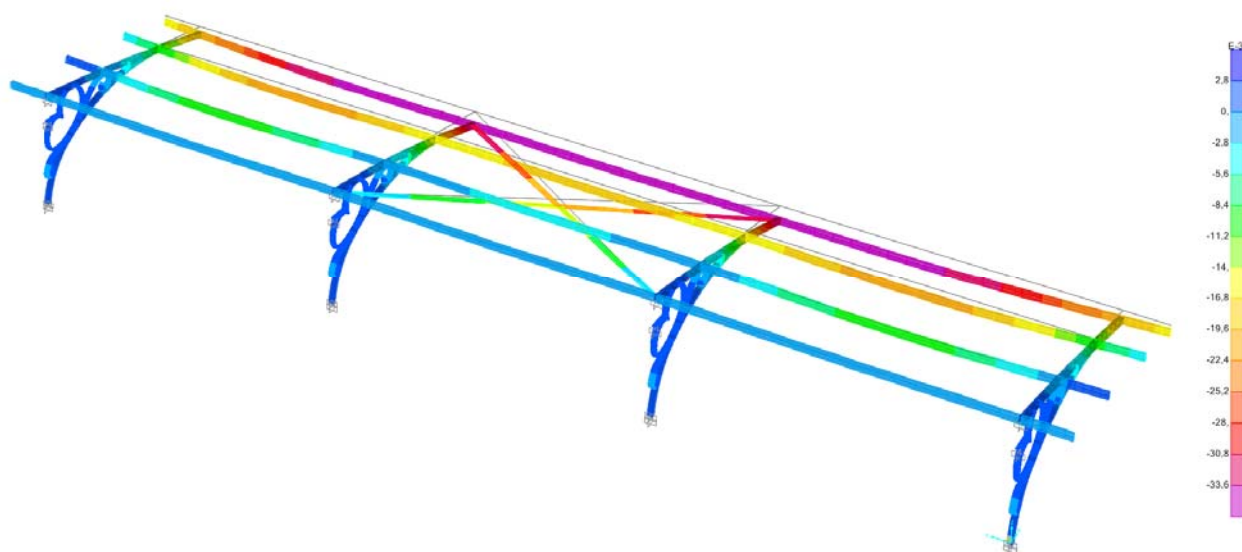
Load Combination Type Linear Add

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
Qvk	Linear Static	0
DEAD	Linear Static	1
GK2	Linear Static	1
Qnk	Linear Static	1
Qvk	Linear Static	0

Si riporta di seguito una sintesi degli esiti ottenuti in termini di deformazioni della struttura.



*Combinazione statica allo SLE rara – Deformata elastica della struttura [mm]*

L'abbassamento in punta della falda in SLE si è ridotto dagli iniziali 57mm agli attuali 33mm.

Il rapporto freccia-luce risulta:  $f/2L = 1/160$

#### 4.5.2. VERIFICHE STRUTTURALI E VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI SICUREZZA

Si riporta di seguito una sintesi delle calcolazioni e delle verifiche effettuate sugli elementi strutturali più significativi, secondo la norma vigente.

Tutte le verifiche sono comunque disponibili presso lo scrivente.

Si espone secondo il seguente criterio:

- Stati limite ultimi SLU – Verifiche di resistenza
- Verifiche in SLE – Verifica di limitazione delle deformazioni

##### 4.5.2.1. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI – SLU

Viene riportata di seguito una sintesi delle verifiche condotte sugli elementi strutturali allo stato limite ultimo e di salvaguardia della vita, in coerenza con la norma vigente. Per ogni dettaglio si faccia riferimento all'allegato di calcolo "RL.001.OUT.01\_00".

Le verifiche vengono condotte mediante l'ausilio del codice di calcolo SAP 2000 – R20, sulla base delle specifiche di seguito riportate.

### 5.5 Stazioni di progetto

Per ogni combinazione di carico, ogni elemento viene progettato e/o verificato in un numero predefinito di stazioni distribuite in modo equidistante su tutta la sua lunghezza. Il numero di stazioni per ogni elemento frame può essere impostato dall'utente, prima di effettuare l'analisi della struttura, attraverso il menu **Assign > Frame > Output Stations**.

### 5.6 Gerarchia delle resistenze

I più importanti codici normativi a livello internazionale prevedono che la progettazione sismica delle strutture sia basata sul criterio della gerarchia delle resistenze. SAP2000 integra pienamente tali indicazioni effettuando, per tutte le combinazioni sismiche selezionate, una progettazione in grado di garantire il soddisfacimento delle prescrizioni sismiche con riferimento alle seguenti tipologie strutturali:

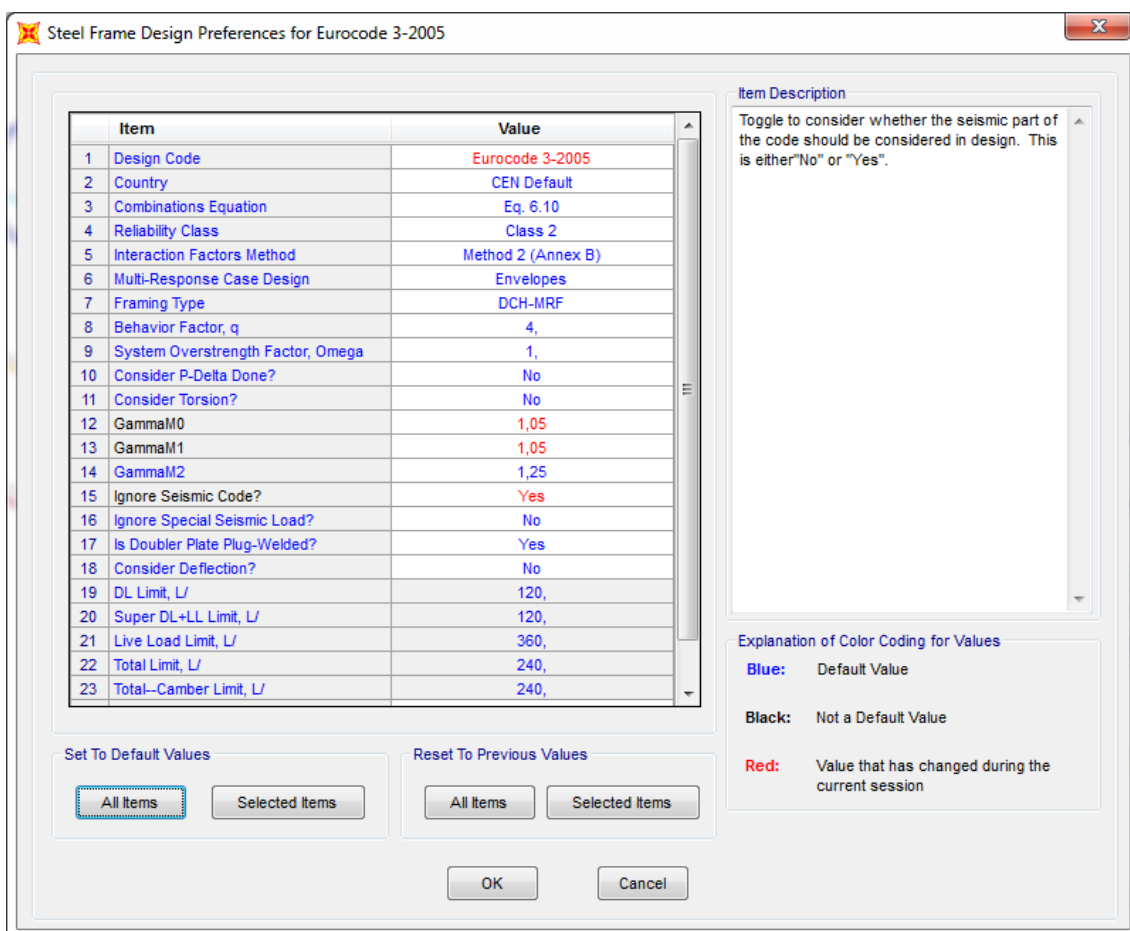
- strutture a telaio
- strutture con controventi concentrici
- strutture con controventi eccentrici

#### 7.10.7 Strutture a controventi concentrici in CDB

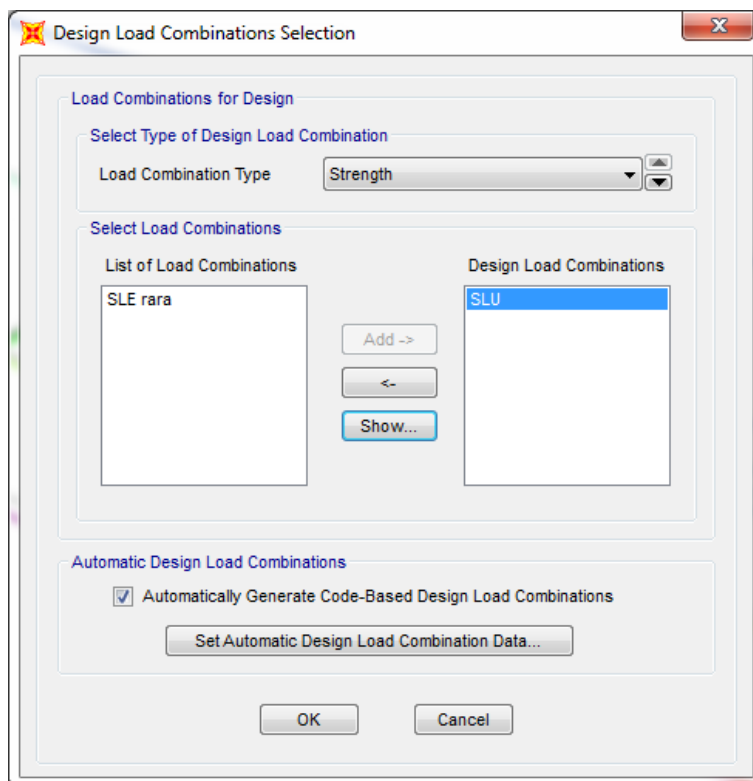
Le strutture a controventi concentrici in classe di duttilità bassa (CDB) possono essere calcolate unicamente in accordo all'EC3, senza prescrizioni aggiuntive.

Si riporta di seguito una sintesi delle assunzioni e delle verifiche condotte sui diversi elementi della struttura metallica in esame.

Per maggiori dettagli si faccia riferimento all'allegato di calcolo in calce alla presente.



*Impostazioni di verifica della struttura secondo la normativa EC03*

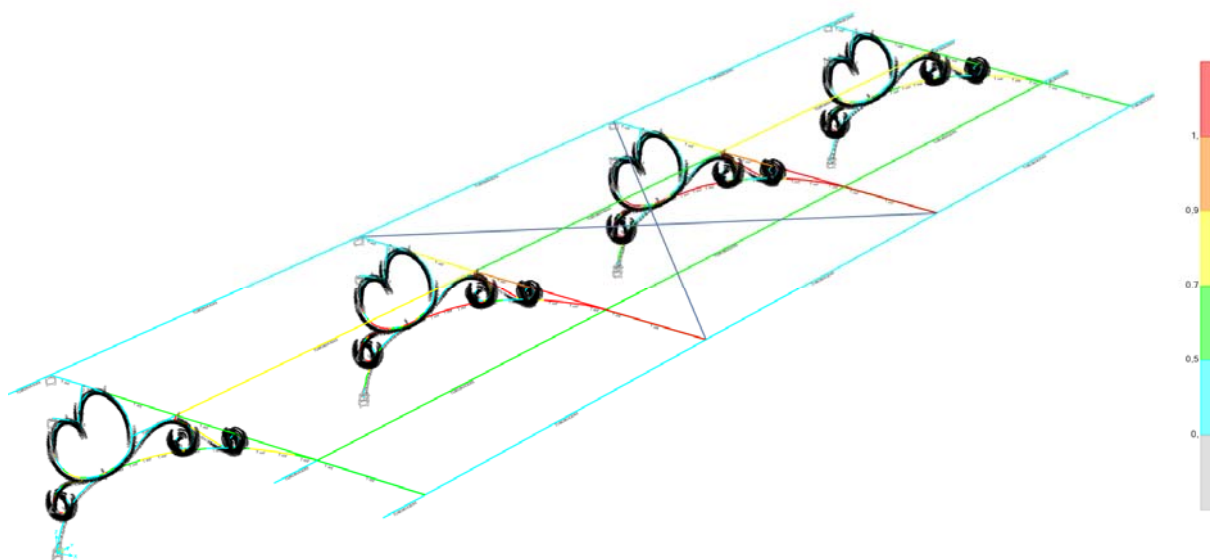


*Combinazioni di carico assunte per le verifiche*

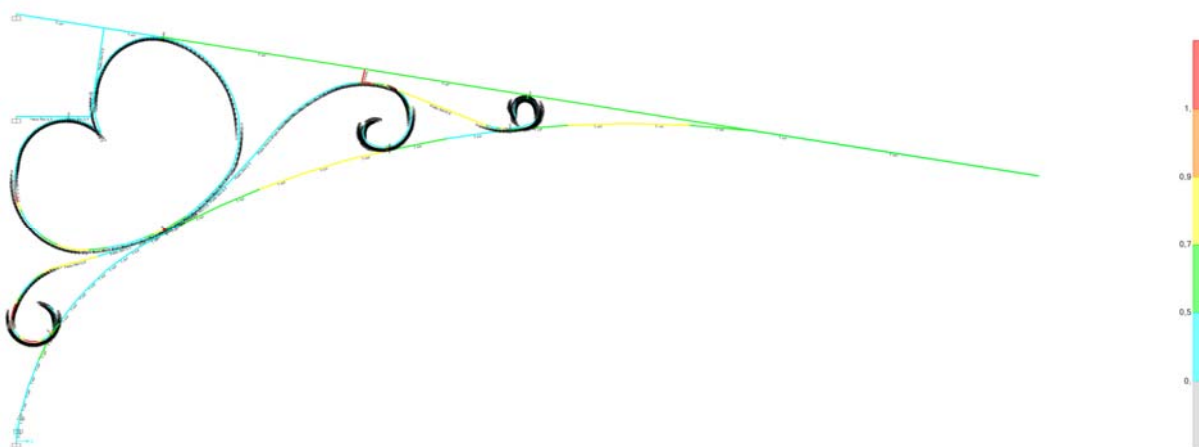
Le schermate sotto riporta la mappatura di ogni elemento nei riguardi di tale verifica ed il relativo fattore di utilizzo dell'elemento.

$$F_s = E_d / R_d$$

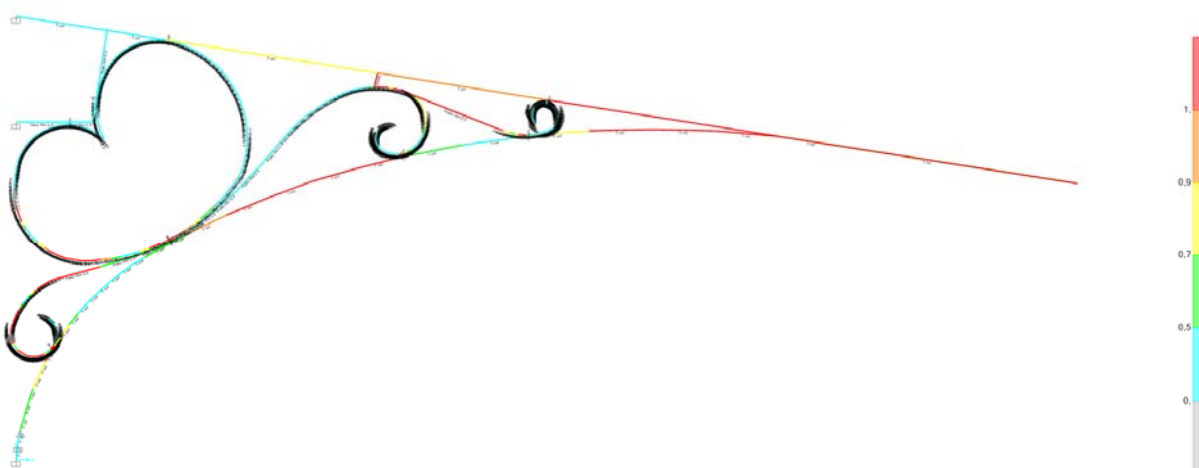




*Mappatura di sintesi delle verifiche condotte con tasso di sfruttamento degli elementi*



*Mensola di estremità*



Come è desumibile dalle mappature sopra riportate, seppur in misura limitata ad alcuni elementi portanti circoscritti, ma anche nella condizione post-rinforzo la struttura non risulta verificata rispetto ai carichi di normativa.

Il Livello di sicurezza raggiunto a seguito degli interventi di consolidamento della struttura risulta pari a:

$$I_s = C/D = 0.77$$

Rispetto a quello calcolato nella attuale condizione della struttura, pari a:

$$I_s = C/D = 0.28$$

#### 4.5.3. Declassamento della struttura (NTC §8.2)

Sulla base delle risultanze ottenute attraverso i calcoli strutturali eseguiti si può concludere che anche a seguito degli interventi di consolidamento previsti la copertura non sarà in grado di sostenere i carichi previsti dalla vigente normativa per la Classe d'uso definita al precedente paragrafo 4.2.1 della relazione.

**Considerato il fatto che ulteriori interventi di rinforzo risulterebbero eccessivamente impattanti sulla struttura e determinerebbero un forte condizionamento estetico e funzionale del manufatto sottoposto a tutela, si ritiene opportuno optare per un "declassamento della stessa" in coerenza con quanto riportato al paragrafo 8.2 delle NTC.**

**Si procede in specifico in una riduzione della "Classe d'uso" definita al precedente paragrafo 4.2.1:**

**dalla Classe II alla Classe I: "Costruzioni con presenza solo occasionale di persone"**

Alla luce di tale declassamento della struttura si ri-determina il "Periodo di riferimento di progetto", portandolo dagli iniziali 50 anni agli attuali 35 anni, come di seguito specificato.

La vita nominale dell'opera è assunta pari a:

$V_n \geq 50$  anni                      "Opere ordinarie"

Il fattore Classe d'uso è assunto pari a:

$C_u = 0.70$                               "Classe I"

Ne consegue un Periodo di riferimento di progetto pari a:

**$V_r = 35$  anni**

VITA NOMINALE $V_N$	VALORI DI $V_R$			
	CLASSE D'USO			
	I	II	III	IV
$\leq 10$	35	35	35	35
$\geq 50$	$\geq 35$	$\geq 50$	$\geq 75$	$\geq 100$
$\geq 100$	$\geq 70$	$\geq 100$	$\geq 150$	$\geq 200$

In ragione del minor periodo di riferimento del progetto, e della conseguente sensibile riduzione delle azioni sollecitanti nominali imposte dalla normativa, le verifiche condotte sulla copertura rinforzata hanno dato esito positivo.