

COMUNE DI BERGAMO
Area Politiche del Territorio

Restauro lavatoi di via Mario Lupo e di via Borgo Canale

A - Lavatoio di via Mario Lupo



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



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

restituzione cad

Geom. Gabriele Moioli

TAV.
P. DEF

RTI

FASE DI PROGETTO:

Definitivo - Esecutivo

DISCIPLINA:

PROGETTO di RESTAURO

COD. WBS:

18.004a.DE.GEN.REL.4.RTI.Rev 0

DATA:

02.10.2018

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 MARIO LUPO
BERGAMO**

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

ottobre 2018



INDICE

1. PREMESSE	3
2. LA SITUAZIONE CONSERVATIVA DEL LAVATOIO	4
2.1. LAVATOIO E PAVIMENTAZIONE	4
2.2. STRUTTURE METALLICHE DI COPERTURA.....	8
3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI RESTAURO E RIFUNZIONALIZZAZIONE	11
3.1. RESTAURO DEL LAVATOIO IN PIETRA.....	11
3.2. RESTAURO E CONSOLIDAMENTO DEGLI ELEMENTI METALLICI DELLA COPERTURA	12
3.3. INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE DEL LAVATOIO	13
4. VERIFICA DELLA COPERTURA E PROGETTO DEGLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO.....	17
4.1. RIFERIMENTI NORMATIVI E TECNICI	17
4.2. PARAMETRI DI CALCOLO ASSUNTI	18
4.2.1. PERIODO DI RIFERIMENTO DEL PROGETTO (§ 2.4.3 NTC 18)	18
4.2.2. LIVELLO DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA (P.TO C8.A.1.A CIRCOLARE 617/09).....	18
4.2.3. PROPRIETÀ DEI MATERIALI – MATERIALI ESISTENTI IN OPERA	20
4.3. AZIONI SOLLECITANTI DI PROGETTO	21
4.3.1. PESI PROPRI STRUTTURALI – G_{k1}	22
4.3.2. SOVRACCARICHI PERMANENTI – G_{k2}	22
4.3.3. SOVRACCARICO DA NEVE - Q_{nk}	22
4.3.4. SOVRACCARICO DA VENTO - Q_{vk}	23
4.4. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA ATTUALE DELLA STRUTTURA	23
4.4.1. MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA	23
4.4.2. TIPI DI ANALISI CONDOTTE.....	24
4.4.2.1. ANALISI DELLE FREQUENZE PROPRIE	25
4.4.2.2. ANALISI IN COMBINAZIONE FONDAMENTALE - SLU	27
4.4.2.3. ANALISI IN COMBINAZIONE RARA - SLE	29
4.4.3. VERIFICHE STRUTTURALI E VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI SICUREZZA.....	30
4.4.3.1. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI – SLU	30
4.5. PROGETTO DELL'INTERVENTO DI RINFORZO.....	32
4.5.1. TIPI DI ANALISI CONDOTTE.....	33
4.5.1.1. ANALISI DELLE FREQUENZE PROPRIE	34
4.5.1.2. ANALISI IN COMBINAZIONE FONDAMENTALE - SLU	36
4.5.1.3. ANALISI IN COMBINAZIONE RARA - SLE	38
4.5.2. VERIFICHE STRUTTURALI E VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI SICUREZZA.....	39
4.5.2.1. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI – SLU	39

1. PREMESSE

La presente relazione costituisce parte integrante del progetto definitivo degli interventi di restauro e riqualificazione dell'antico lavatoio di via Mario Lupo in 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 architettonico ed impiantistico previsti ai fini di una riqualificazione del manufatto sul piano funzionale, estetico e della sicurezza, in una prospettiva di piena fruizione da parte del pubblico di questo suggestivo e pregevole spazio, di rievocazione e rilettura in chiave simbolica del suo ruolo storico di luogo della socialità.

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

Relazioni - Capitolati	
Elenco Elaborati	18.004a.DEF.RES.REL.1.EE.Rev 0
Relazione Storica	18.004a.DEF.RES.REL.2.RSS.Rev 0
Rilievo fotografico	18.004a.DEF.RES.REL.3.RF.Rev 0
Relazione Tecnico-Illustrativa	18.004a.DEF.RES.REL.4.RTI.Rev 0
Rilievo materico e del degrado	
Geometrici: Piante - Prospetti	18.004a.DEF.RES.RIL.1.TAV.Rev 0
Materici-Diagnostici: Piante - Prospetti	18.004a.DEF.RES.RIL.2.TAV.Rev 0
Progetto conservativo	
Interventi di Restauro	18.004a.DEF.RES.PRG.1.TAV.Rev 0
Interventi di consolidamento e riqualificazione	18.004a.DEF.RES.PRG.2.TAV.Rev 0
Scheda di Restauro - Lavatoio e pavimentazione	18.004a.DEF.RES.PRG.3.SR.Rev 0

2. LA SITUAZIONE CONSERVATIVA DEL LAVATOIO

Il lavatoio, ubicato in prossimità della torre medievale del Gombito al limitare della suggestiva piazzetta Angelini, versa in un avanzato stato di abbandono e degrado che interessa tanto gli elementi lapidei del basamento e delle vasche quanto la generosa struttura metallica di copertura in ghisa e acciaio.

La sua “perdita di una esplicita funzione”, abbinata ad una scarsa manutenzione e a recenti atti di vandalismo hanno determinato una preoccupante progressione dei fenomeni di degrado, tale da rendere oggi indispensabile ed improrogabile un intervento organico di messa in sicurezza e di restauro.

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. Lavatoio e pavimentazione

La base lapidea del lavatoio è in marmo di Zandobbio, di forma rettangolare in pianta con le due testate corte a profilo semicircolare, con un'altezza costante da terra di circa 70cm, ed è costituita da 18+4 vasche di contenimento affiancate fra loro separate lateralmente da setti sottili di pietra. Ognuna delle vasche è dotata di uno scarico posto alla base e da un tubo metallico verticale per lo sfioro dell'acqua a livello del colmo dell'invaso.

L'acqua veniva portata alle 22 vasche mediante un tubo metallico di adduzione posto orizzontalmente sopra la parete longitudinale che separa le due file di vasche, dotato di stacchi secondari sulle vasche completi di rubinetto terminale. Oggi questo sistema di adduzione dell'acqua non è più presente sul lavatoio e dello stesso rimangono solamente l'innesto nel setto di marmo centrale e i segni degli ancoraggi meccanici, stuccati con malta cementizia.

Tutti gli scarichi delle vasche risultano collegati sotto il piano della pavimentazione mediante un canale di raccolta e convogliamento delle acque che perimetra il lavatoio, coperto con dei chiusini forati in cemento, che confluisce in un pozzetto di ispezione posto sotto la pavimentazione a nord del manufatto.



Basamento in pietra di Zandobbio del lavatoio



Testata semicircolare



Parte centrale del lavatoio con le vasche affiancate separate da setti di pietra



Dettaglio delle vasche in linea

La pavimentazione della piazzetta del lavatoio è costituita da campiture regolari in acciottolato posate con la tecnica della “Rizzata”, riquadrate con fasce in pietra arenaria lavorate alla martellina. La piazzetta è delimitata perimetralmente da muretti e da gradinate in pietra calcarea a vista.



Dettaglio della pavimentazione in acciotolato e fasce di arenaria



Scalinate e muretti d'ambito della piazzetta

Lo stato di conservazione del lavatoio risulta scadente, con i blocchi e le lastre di Zandobbio che in diversi punti presentano fenomeni di fratturazione, di scagliatura e di disgregazione.

Si rilevano in misura diffusa all'interno delle vasche e sulle pareti esterne di contorno del basamento depositi più o meno consistenti di particellato, localmente abbinati a concrezioni e croste nere.

Frequenti e diffusi i segni di incuria e vandalismo che hanno causato la perdita della quasi totalità delle costolature in pietra originariamente presenti fra i piani inclinati di lavaggio prospicienti le vasche e imbrattato con scritte a vernice alcuni punti del basamento.



Costolatura di separazione dei piani di lavaggio integra (dx) e danneggiata (sx)



Lastre di separazione e costolature sui piani di lavaggio rotte da vandali

Il sistema di adduzione dell'acqua risulta totalmente dismesso e privo della tubazione di adduzione longitudinale che alimentava le 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 la rottura di numerose lastre in cls di chiusura della gronda perimetrale di raccolta.

La pavimentazione a Rizzata denota numerose zone dissestate in cui i ciottoli risultano mancanti o dislocati, e numerose zone di rappezzo male eseguite con un allettamento a base cementizia eccessivamente affiorante.



Zona dissestata della Rizzata di pavimento

2.2. Strutture metalliche di copertura

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



Scorcio dell'intradosso della copertura



Dettaglio dei supporti montanti di estremità della copertura



Dettaglio di un nodo della struttura di sostegno della copertura

La copertura riflette in pianta la sagoma del lavatoio sottostante, con uno sviluppo prevalentemente longitudinale e le due testate corte ad emiciclo.

E' a doppio spiovente, sostenuta da una articolata struttura composta da una trave reticolare di spina impostata su due colonne terminali di ghisa, e da una scansione regolare di mensole triangolari coerenti con la sagoma delle falde, che nei due emicicli si dipartono a raggiera dal fulcro centrale costituito da un montante lavorato in ghisa.

Il manto di estradosso così come il canale di gronda è in lamiera metallica verniciata fissata con rivetti.

Lungo tutto il contorno della copertura al di sotto della gronda è presente una greca decorativa composta da lamine metalliche sagomate e lavorate a sbalzo.

Sia il manto di rivestimento che la sottostruttura presentano estesi e gravi fenomeni di degrado e di dissesto che ne pregiudicano la funzionalità e la stabilità.

Estese zone del manto sono 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 e i tubi di scarico sono completamente ricoperti ed intasati da accumuli di particellato e sono largamente consunti e irrimediabilmente danneggiati dall'azione corrosiva dell'acciaio.

Il sottogronda decorativo risulta lacunoso in alcuni tratti del perimetro e parzialmente danneggiato per gli elementi rimasti in opera.



Dettaglio dell'innesto del canale di scarico nella gronda

Per quanto concerne la struttura portante si rilevano estesi fenomeni di ossidazione a livello degli elementi portanti e dei nodi di giunzione che localmente determinano una forte parzializzazione delle sezioni resistenti.

Sulla colonna in ghisa di lato Ovest si rileva la presenza di gravi fenomeni di fessurazione, sia in direzione verticale lungo il tronco della colonna e per buona parte del suo sviluppo (n.2 lesioni di 1.2 e 0.80 metri), sia in direzione circonferenziale a livello del capitello nella zona di innesto della briglia inferiore della reticolare di falda.

Quest'ultima lesione è passante e interessa tutta la circonferenza configurando di fatto un completo distacco della parte di sommità della colonna, ormai priva di risorse flessionali e taglienti.



Dettaglio della fessura verticale sulla colonne di ghisa



Dettaglio del capitello inferiore della colonna Ovest e del montante adiacente di supporto della parte circolare della copertura



Dettaglio della fessura sul capitello della colonna

3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI RESTAURO E RIFUNZIONALIZZAZIONE

Il progetto prevede in sintesi la realizzazione di un intervento di restauro conservativo del lavatoio in pietra, della pavimentazione circostante e di tutte le componenti metalliche “strutturali” che compongono la copertura.

Per quanto concerne la copertura, a causa dei gravi fenomeni di dissesto presenti e descritti ai paragrafi precedenti, si rende necessario un intervento di consolidamento strutturale finalizzato al rinforzo della stessa e alla sua messa in sicurezza definitiva.

L'intervento strutturale consisterà in sintesi nelle seguenti operazioni:

- Installazione di nuovi tiranti di controventamento in fune metallica in corrispondenza della due colonne di imposta, secondo gli schemi grafici riportati nelle tavole di progetto.
- Installazione di un efficace sistema di contenimento e rinforzo del capitello fessurato della colonna ovest, secondo gli schemi grafici riportati nelle tavole di progetto.
- Rinforzo della colonna lesionata mediante fasciatura del fusto con sistema a basso spessore in rete bidirezionale cfrp in matrice organica;
- Verifica di tutti i nodi chiodati interelemento con eventuale sostituzione e/o integrazione degli elementi di giunzione (rivetti, chiodi, bulloni, piastre,...);
- Consolidamento della colonna in ghisa fessurata di lato Ovest mediante fasciatura in basso spessore con rete bidirezionale in cfrp applicata in matrice organica;
- Consolidamento del capitello fessurato sulla colonna di lato Ovest mediante confinamento verticale con doppia corona circolare in acciaio inox e perni presollecitati d.10mm;
- Verifica puntuale delle condizioni di degrado dei diversi elementi metallici che costituiscono la struttura portante con conseguente locale integrazione delle sezioni metalliche degradate e/o non verificate mediante sostituzione e/o affiancamento con nuovi elementi di caratteristiche analoghe.

Si prevedono altresì alcuni interventi di riqualificazione e rifunionalizzazione del lavatoio finalizzati ad un suo riuso e consistenti in specifico in:

- nella locale sistemazione della pavimentazione circostante in acciottolato per le parti dissestate;
- nella sostituzione delle lamiere di rivestimento e degli elementi terminali della copertura con nuovi elementi in lamiera di zinco-titanio aggraffati;
- nella reintroduzione dell'acqua all'interno delle vasche del lavatoio mediante l'installazione di un nuovo impianto idraulico a circuito chiuso per il ricircolo ed il trattamento dell'acqua;
- nell'installazione di un nuovo impianto di illuminazione architettuale con sensori crepuscolari.

Si riporta di seguito la descrizione degli interventi previsti in progetto.

3.1. Restauro del Lavatoio in pietra

Il restauro del manufatto in pietra di Zandobbio del lavatoio è finalizzato alla conservazione dei diversi elementi lapidei che lo compongono, 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 con malte compatibili opportunamente campionate, e la successiva pulitura e revisione cromatica dei bordi di stuccatura.



Dettaglio di una delle vasche oggetto di intervento in corrispondenza del setto in pietra di separazione e del tubo metallico di sfioro

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.

3.2. 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 collegamento sotto falda degli elementi portanti

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 nelle tavole grafiche di intervento.

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.

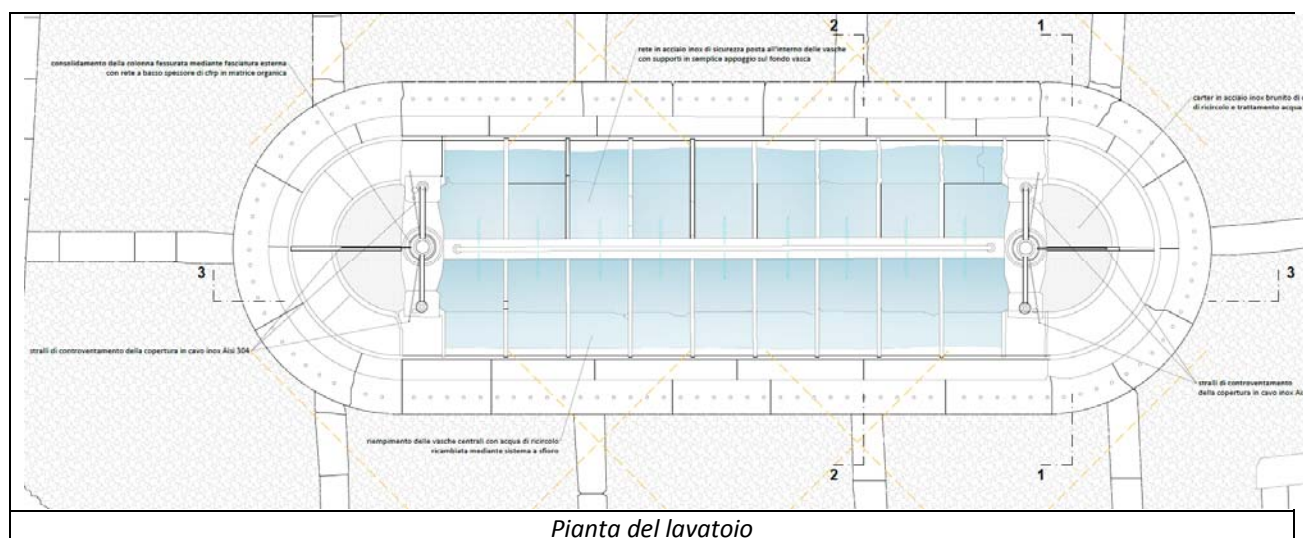
3.3. Interventi di riqualificazione del lavatoio

Il progetto contempla ulteriormente i seguenti interventi di recupero funzionale e riqualificazione del lavatoio, 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 "reintroduzione dell'acqua" nel lavatoio, attraverso l'installazione di un nuovo impianto idraulico compatibile con la struttura storica, opportunamente alloggiato all'interno degli involucri laterali delle vasche di testata e concepito in un'ottica di "minimo impatto visivo" e di "massima reversibilità" dell'intervento.

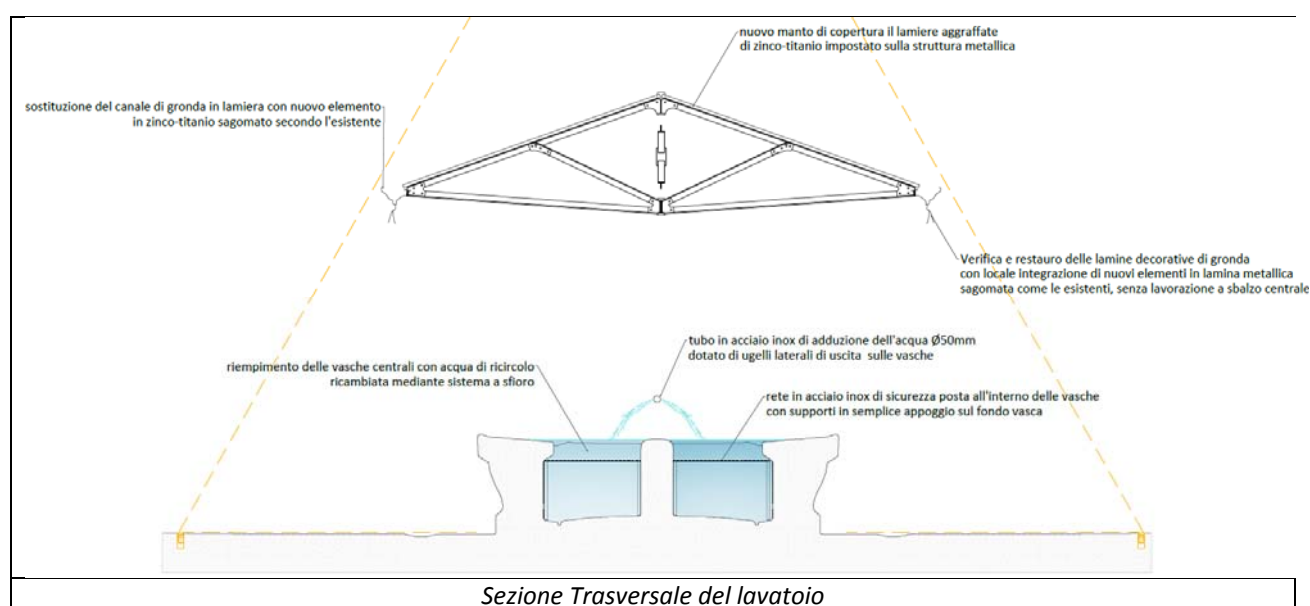
Il nuovo sistema di adduzione dell'acqua nelle vasche sarà costituito da un nuovo tubo a vista disposto nella medesima posizione della tubazione originariamente presente sul lavatoio, dotato di semplici ugelli laterali per la fuoriuscita di zampilli d'acqua entro gli involucri in linea delle vasche.

L'acqua all'interno delle vasche raggiungerà il livello riportato negli elaborati grafici, andando a riempire per intero gli involucri e a raggiungere la fascia più esterna dei ripiani inclinati di lavaggio delle vasche, così da superare gli sbarramenti inter-vasca costituiti dai setti in pietra e a formare di fatto due grandi specchi d'acqua sui due lati lunghi del lavatoio.



Il deflusso dell'acqua da tali invasi sarà garantito attraverso un nuovo sistema di scarico "a sfioro" ubicato nelle due zone di testa, in contiguità con le 2+2 vasche poste negli emicicli, dove saranno installate le macchine dell'impianto per il pompaggio ed il trattamento dell'acqua.

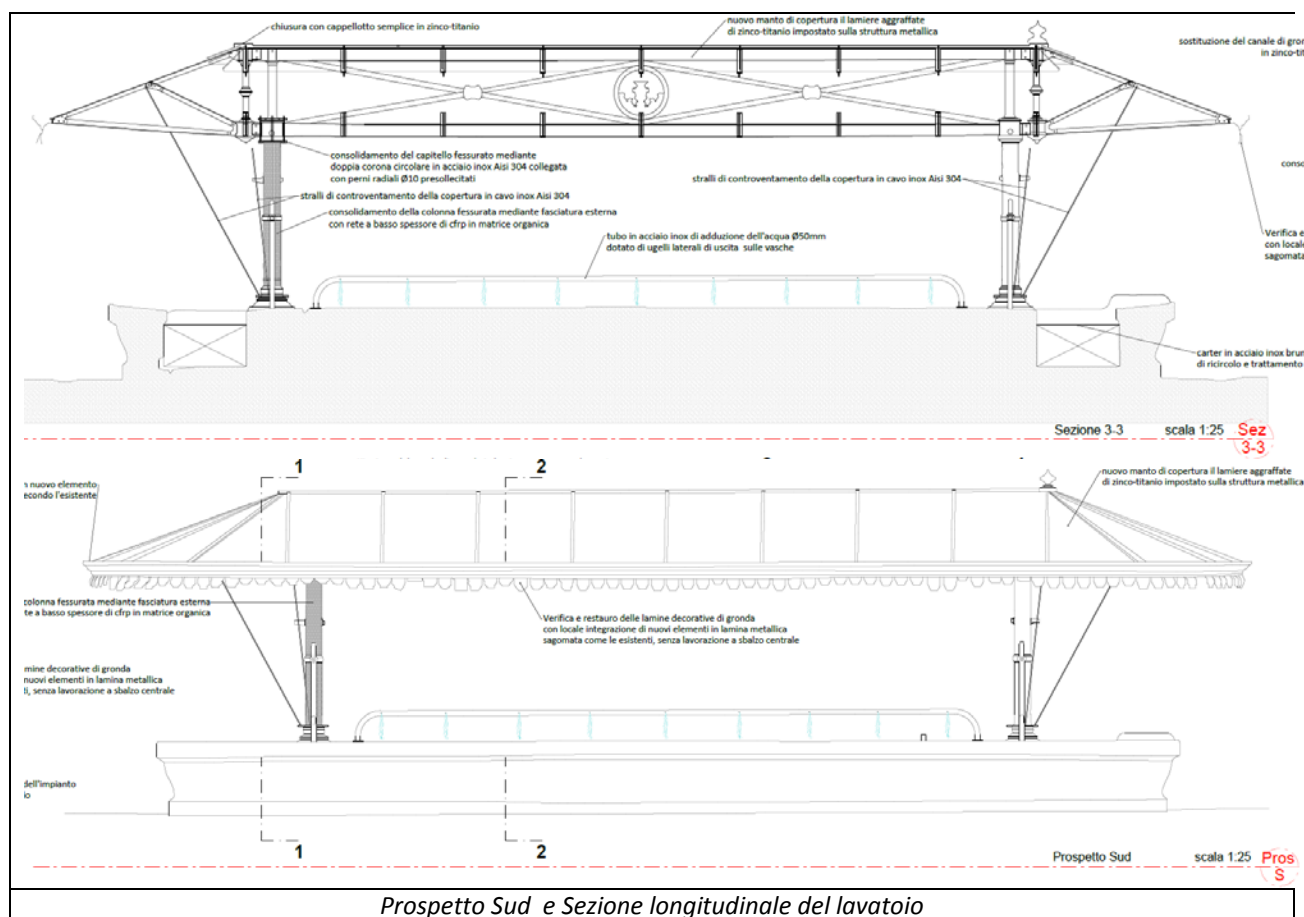
Per motivi di sicurezza entro i diversi invasi delle vasche con acqua, a circa 15-20cm dal pelo d'acqua, sarà installata una protezione costituita da una rete in acciaio inox brunito in grado di impedire la caduta di persone e/o cose nelle vasche.



Per quanto concerne la copertura del lavatoio si prevede la sostituzione delle lamiere metalliche degradate del manto e del canale di gronda, oggi pesantemente compromessi e non recuperabili. Le attuali lamiere in ferro verniciato saranno sostituite con nuove lastre aggraffate in zinco-titanio, pressoché esenti da problemi di ossidazione/degrado, sagomate in coerenza con l'attuale configurazione di estradosso delle falde al fine di garantire una continuità estetica con l'attuale situazione.

Si prevede inoltre la sostituzione del canale di gronda esterno con una nuova lamiera in zinco-titanio sagomata secondo l'attuale disegno della gronda.

Gli elementi decorativi in lamina metallica che scendono dall'attuale gronda saranno preventivamente sganciati previa numerazione e catalogazione, recuperati mediante rimozione delle vernici presenti e successivo trattamento passivante e di finitura, ed infine riposizionate sul nuovo canale di gronda nella loro posizione originaria.



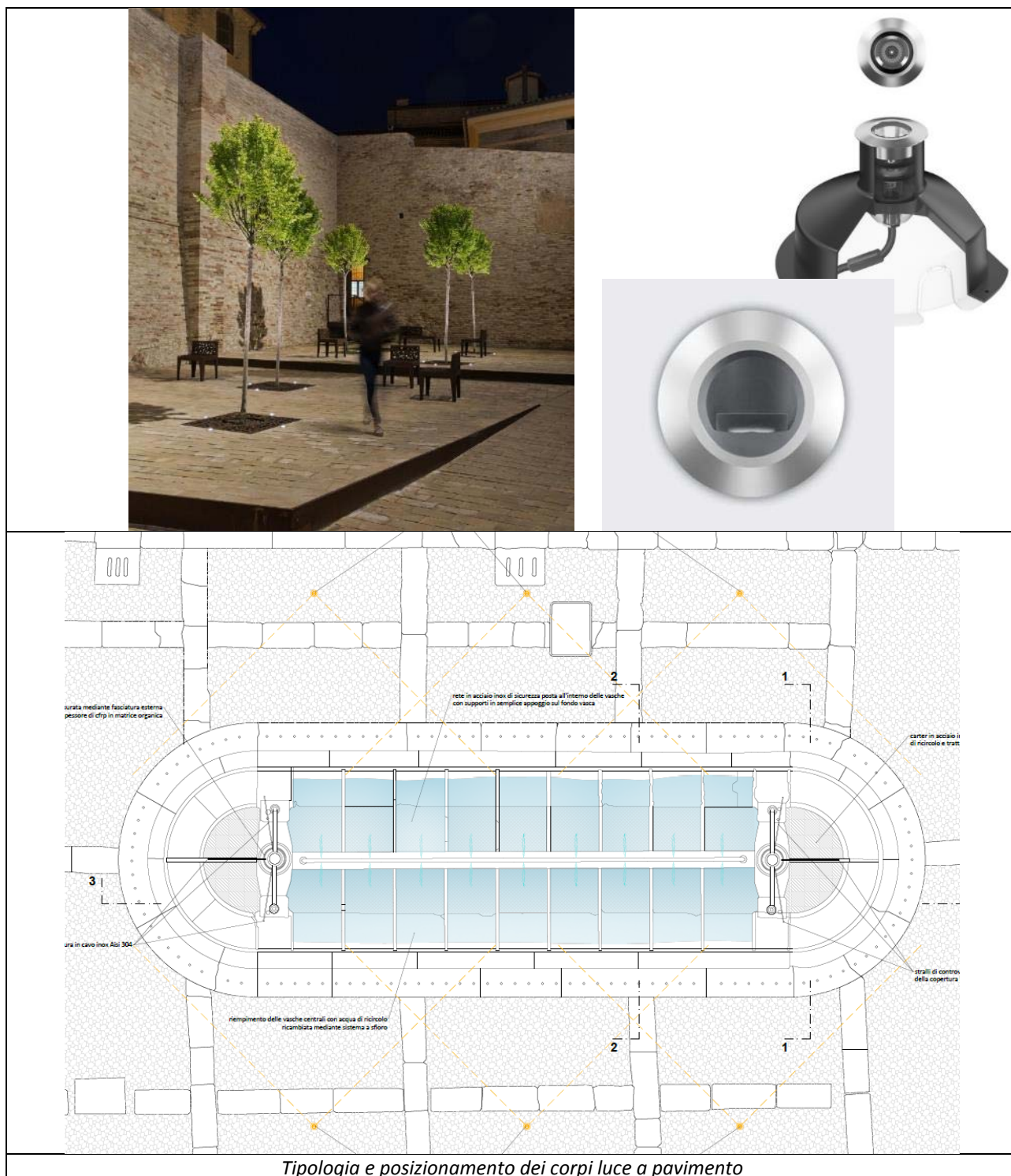
A livello della pavimentazione esterna si prevede la sostituzione degli elementi in cls danneggiati di copertura del canale di scarico posto perimetralmente al lavatoio, ed il ripristino delle aree dissestate del pavimento a Rizzata.



Zona dissestata della pavimentazione in acciottolato della piazzetta

A livello della pavimentazione 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.



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 metallica 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
≤ 10	35	35	35	35
≥ 50	≥ 35	≥ 50	≥ 75	≥ 100
≥ 100	≥ 70	≥ 100	≥ 150	≥ 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 " γ_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:

Acciaio da carpenteria:

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

Ghisa colonne:

Tipo di ghisa	Lamellare grigia	
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk}	--	N/mm ²
Tensione media di rottura f_{tm}	100	N/mm ²
Tensione di calcolo $f_{td} = f_{tm} / \gamma_m \times F_c$	61.73	N/mm ²
Peso specifico	$\delta_s = 7.250$	kg /m ³

Modulo di elasticità normale, E	120.000	N/mm ²
Coefficiente di Poisson, ν	0,3	-
Modulo di elasticità trsversale, $G = E / [2 (1 + \nu)]$	46.153	N/mm ²
Coefficiente di espansione termica, α	11×10^{-3}	-

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 – Gk1

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 – Gk2

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

$$Gk2 = 10 \text{ daN/m}^2$$

4.3.3. SOVRACCARICO DA NEVE - Qnk

Il sovraccarico da neve è pari a:

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

4 CARICO NEVE SULLA COPERTURA E COMBINAZIONI DI CARICO

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

μ_i (coefficiente di forma)

q_{sk} (valore caratteristico della neve al suolo [kN/m²])

C_E (coefficiente di esposizione)

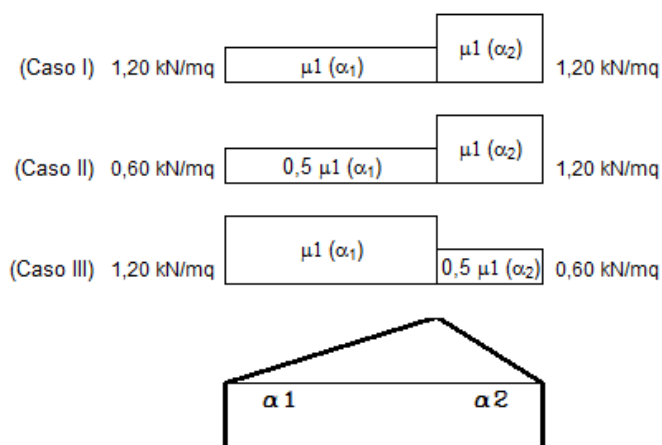
C_t (coefficiente termico)

4.1 Combinazione per il caso di copertura a più falde

Per il calcolo si considera solo la più gravosa delle tre condizioni di carico, di seguito calcolate.

α_1 (inclinazione falda)	20 [deg]
α_2 (inclinazione falda)	20 [deg]

$\mu_1 (\alpha_1)$	0,80
$\mu_1 (\alpha_2)$	0,80



Caso I: Carico da neve depositata in assenza di vento

Caso II: Carico da neve depositata in presenza di vento

Caso III: Carico da neve depositata in presenza di vento

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

$$p \text{ (pressione del vento)} = q_s \cdot c_d \cdot c_t \cdot c_e \cdot c_p$$

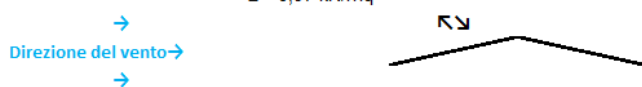
c_d (coefficiente dinamico) c_t (coefficiente topografico) c_e (coefficiente di esposizione)

c_p (coefficiente di forma)

	$p \text{ [kN/m}^2\text{]}$	c_d	c_t	c_e	c_p	$P \text{ [kN/m}^2\text{]}$
(1) par. sopravvent.	0,391	1,00	1,00	1,634	0,00	0,00
(2) cop. sopravvent.	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 sopravvento

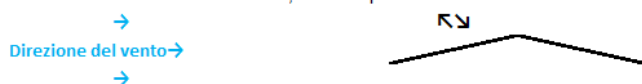
$$\pm 0,97 \text{ kN/mq}$$



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

(2) copertura sopravvento

$$\pm 0,93 \text{ kN/mq}$$



4.4. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA ATTUALE DELLA STRUTTURA

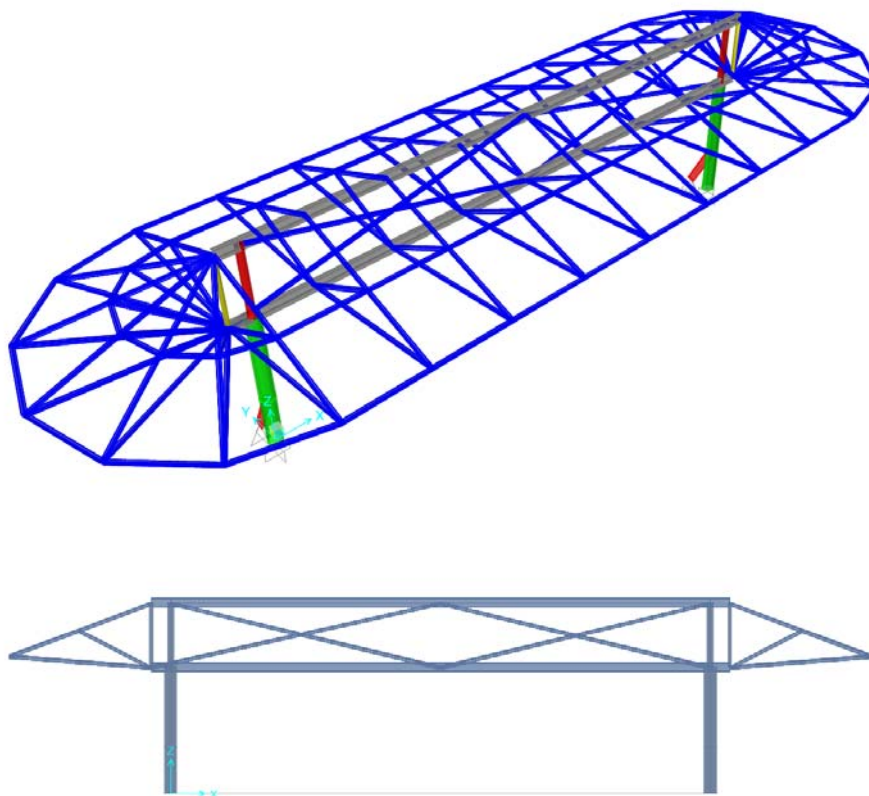
Vengono eseguite le analisi e le verifiche della copertura nelle sue attuali condizioni al fine di determinare gli odierni livelli di sicurezza della stessa nei riguardi delle sollecitazioni di progetto.

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.

Define Load Patterns

Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern
DEAD	Dead	1	
DEAD	Dead	1	
Gk2	Dead	1	
Qnk	Snow	0	
Qvk	Wind	0	None

Click To:

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

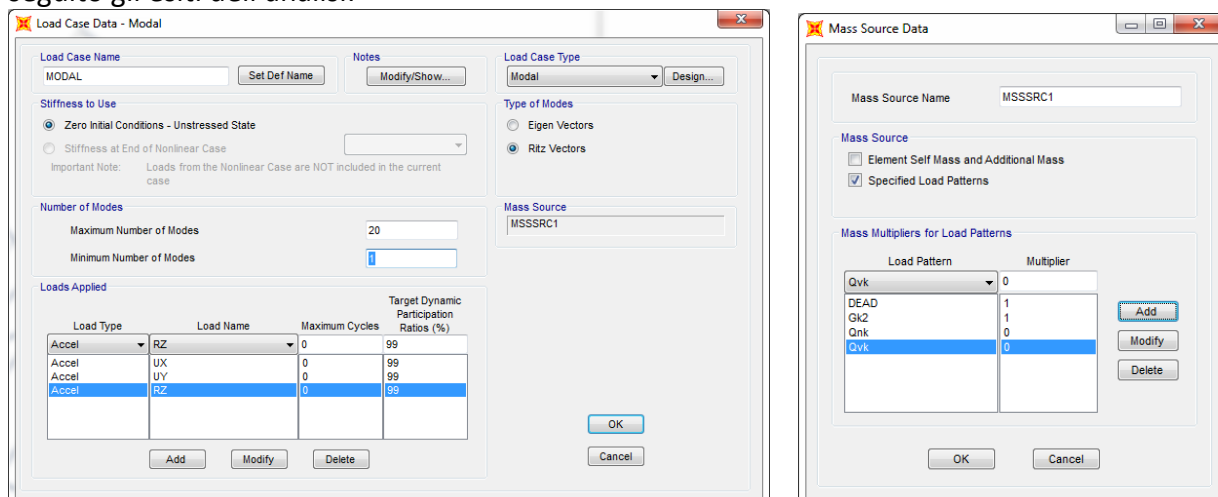
- Analisi statica in combinazione di esercizio rara SLE
- Analisi di instabilità

4.4.2.1. Analisi delle frequenze proprie

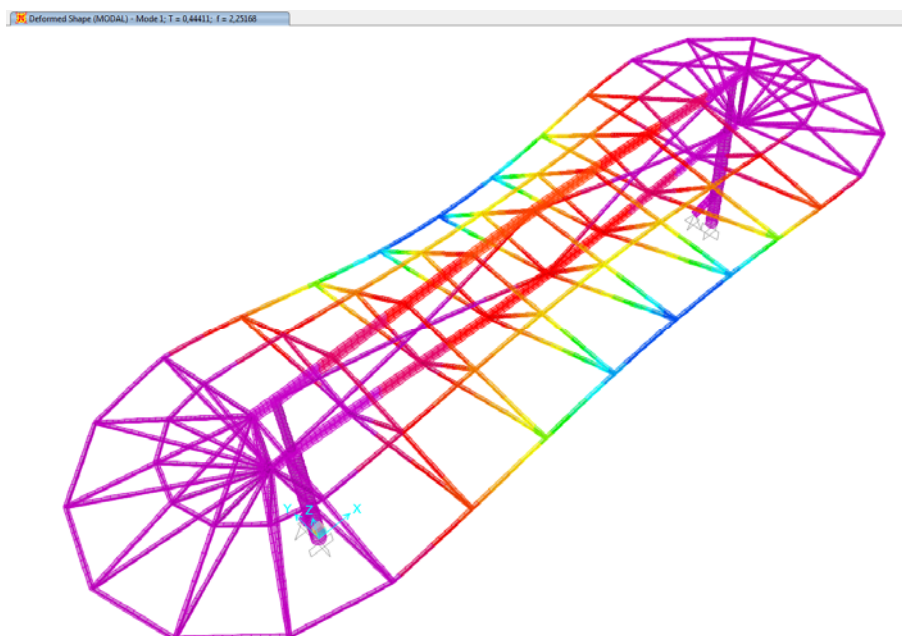
Le masse inerziali utilizzate per la caratterizzazione dinamica della struttura sono quelle previste dalla norma in 2.5.3:

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

Di seguito gli esiti dell'analisi:

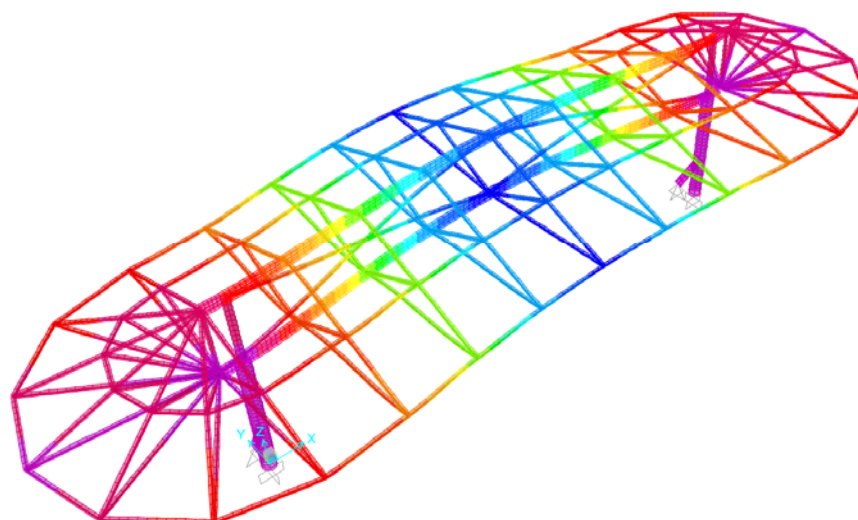


Parametri di analisi – Frequenze proprie struttura



Deformata di primo modo – svergolamento delle falde: $T = 0.44$ sec

Deformed Shape (MODAL) - Mode 2, T = 0.27536, f = 3.6263



Deformata di secondo modo – sbandamento laterale delle falde: $T = 0.27 \text{ sec}$

OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Unitless	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0.444113	7.967E-16	0.001286	2.816E-08	7.967E-16	0.001286	2.816E-08	0.48	1.396E-14	1.776E-08	0.48	1.396E-14	1.776E-08
MODAL	Mode	2	0.275784	1.16E-12	0.47	6.757E-07	1.161E-12	0.47	7.039E-07	0.06577	4.582E-15	2.317E-07	0.54	1.855E-14	2.494E-07
MODAL	Mode	3	0.20791	1.057E-07	5.97E-09	8.771E-13	1.057E-07	0.47	7.039E-07	1.151E-07	1.047E-06	0.15	0.54	1.047E-06	0.15
MODAL	Mode	4	0.173959	1.534E-07	2.438E-07	7.181E-12	2.591E-07	0.47	7.039E-07	2.844E-06	1.052E-06	0.29	0.54	2.099E-06	0.44
MODAL	Mode	5	0.138948	7.788E-11	0.03659	4.298E-06	2.592E-07	0.51	5.002E-06	0.23	5.723E-10	2.377E-05	0.77	2.099E-06	0.44
MODAL	Mode	6	0.134388	1.271E-07	1.585E-05	4.873E-10	3.863E-07	0.51	5.002E-06	5.862E-05	2.565E-06	0.08234	0.77	4.665E-06	0.52
MODAL	Mode	7	0.106586	6.436E-07	7.429E-06	2.857E-06	1.03E-06	0.51	7.86E-06	9.02E-07	2.982E-07	0.001081	0.77	4.963E-06	0.52
MODAL	Mode	8	0.099464	9.358E-08	3.08E-06	9.114E-06	1.123E-06	0.51	1.697E-05	1.088E-07	4.624E-06	0.003328	0.77	9.587E-06	0.53
MODAL	Mode	9	0.094927	3.282E-07	0.08581	1.675E-05	1.452E-06	0.6	3.372E-05	0.002501	4.915E-09	1.672E-09	0.77	9.592E-06	0.53
MODAL	Mode	10	0.089988	0.84	2.743E-08	0.001024	0.84	0.6	0.001057	1.529E-09	0.004932	2.381E-07	0.77	0.004942	0.53
MODAL	Mode	11	0.074466	0.002547	8.072E-05	0.34	0.84	0.6	0.34	1.711E-05	2.737E-06	3.976E-06	0.77	0.004945	0.53
MODAL	Mode	12	0.072594	1.864E-06	0.06723	0.0002301	0.84	0.66	0.34	0.01788	4.139E-08	2.899E-05	0.79	0.004945	0.53
MODAL	Mode	13	0.063802	1.277E-06	7.728E-05	3.022E-05	0.84	0.66	0.34	6.635E-06	5.834E-05	0.13	0.79	0.005003	0.66
MODAL	Mode	14	0.059122	0.05365	6.555E-07	6.367E-07	0.9	0.66	0.34	6.481E-08	0.07765	3.848E-05	0.79	0.08265	0.66
MODAL	Mode	15	0.056286	1.286E-06	0.2	6.324E-06	0.9	0.86	0.34	0.02346	8.093E-07	0.000869	0.81	0.08265	0.66
MODAL	Mode	16	0.052944	3.636E-05	0.001982	6.423E-06	0.9	0.87	0.34	0.0002815	5.363E-07	0.18	0.81	0.08265	0.84
MODAL	Mode	17	0.030592	0.01985	1.489E-08	2.452E-05	0.92	0.87	0.34	7.8E-09	0.19	9.207E-05	0.81	0.28	0.84
MODAL	Mode	18	0.02465	7.263E-05	0.0001298	1.692E-06	0.92	0.87	0.34	4.532E-05	0.001336	0.04632	0.81	0.28	0.89
MODAL	Mode	19	0.023076	2.633E-07	0.03807	1.793E-05	0.92	0.9	0.34	0.01507	5.049E-06	0.0002145	0.83	0.28	0.89
MODAL	Mode	20	0.012886	0.02839	5.772E-09	6.322E-05	0.95	0.9	0.34	2.412E-08	0.06276	0.000103	0.83	0.34	0.89

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

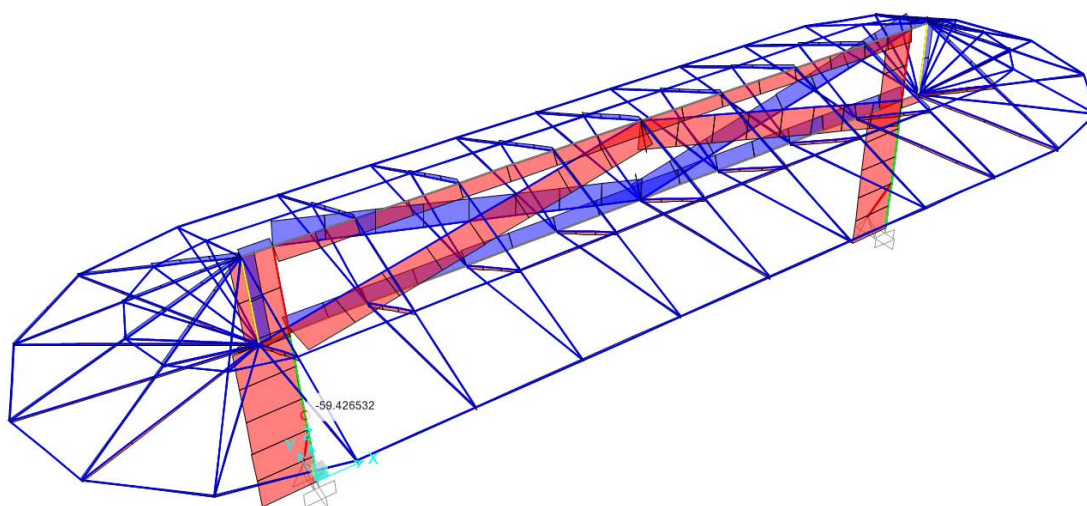
Load Combination Type

Options

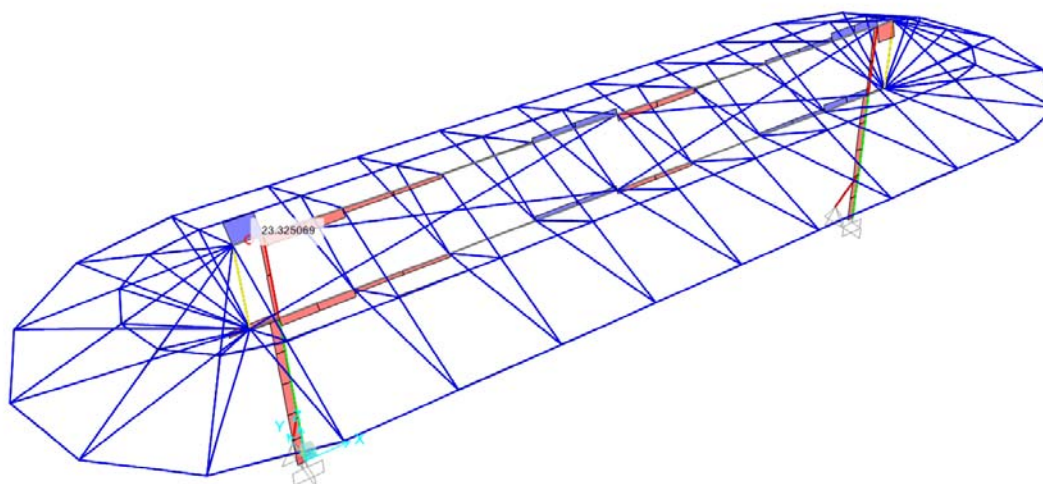
Define Combination of Load Case Results

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

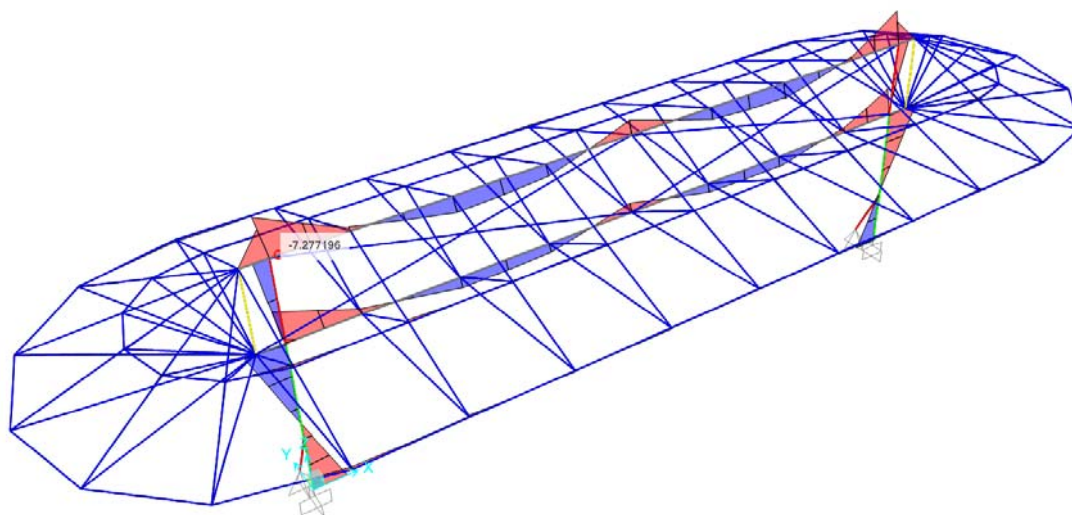
Si riporta di seguito una sintesi degli esiti ottenuti.



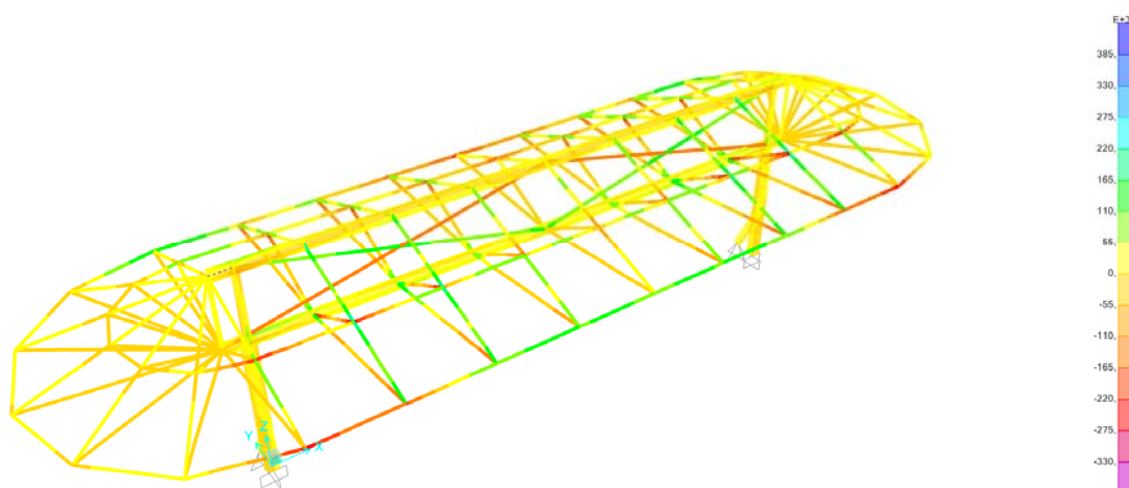
Combinazione statica allo SLU - Diagramma azioni assiali [KN-m]



Combinazione statica allo SLU - Diagramma azioni taglienti 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/mm²]

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

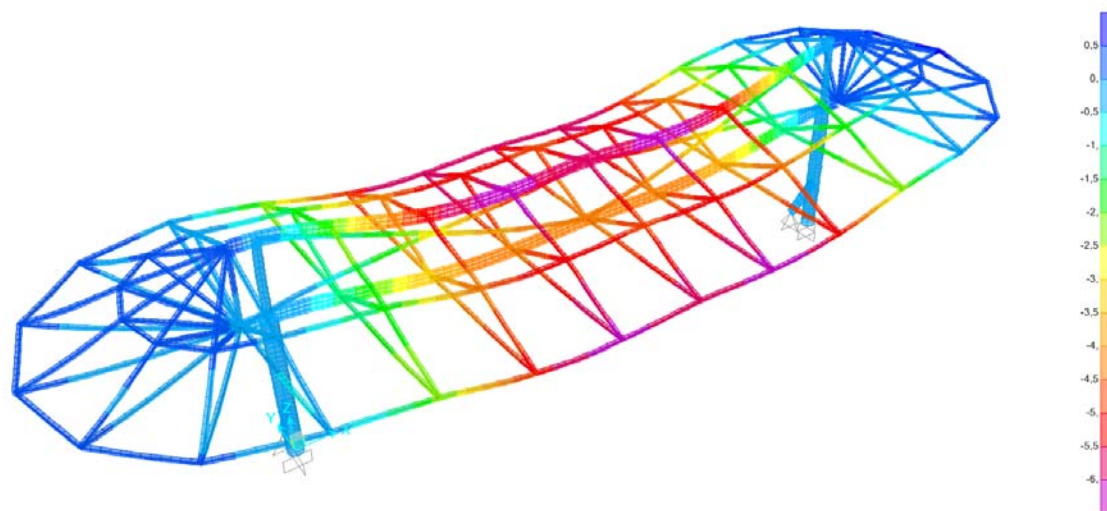
Load Combination Type Linear Add

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...

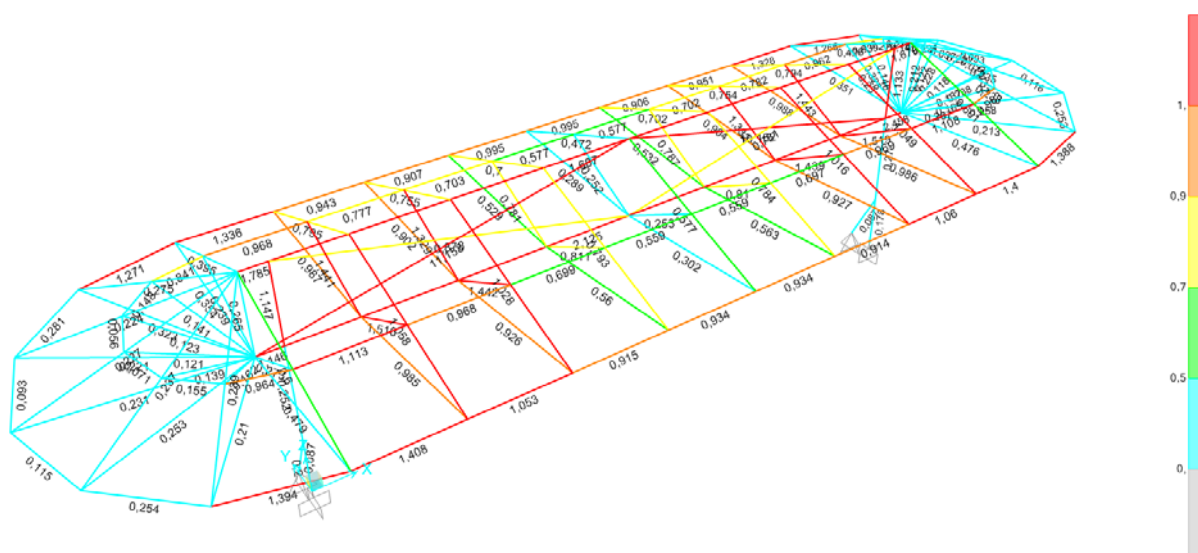
Automatic Design Load Combinations
☒ Automatically Generate Code-Based Design Load Combinations
 Set Automatic Design Load Combination Data...

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 buona parte degli elementi NON RISULTA VERIFICATA e non è pertanto in grado di reggere i carichi di progetto.

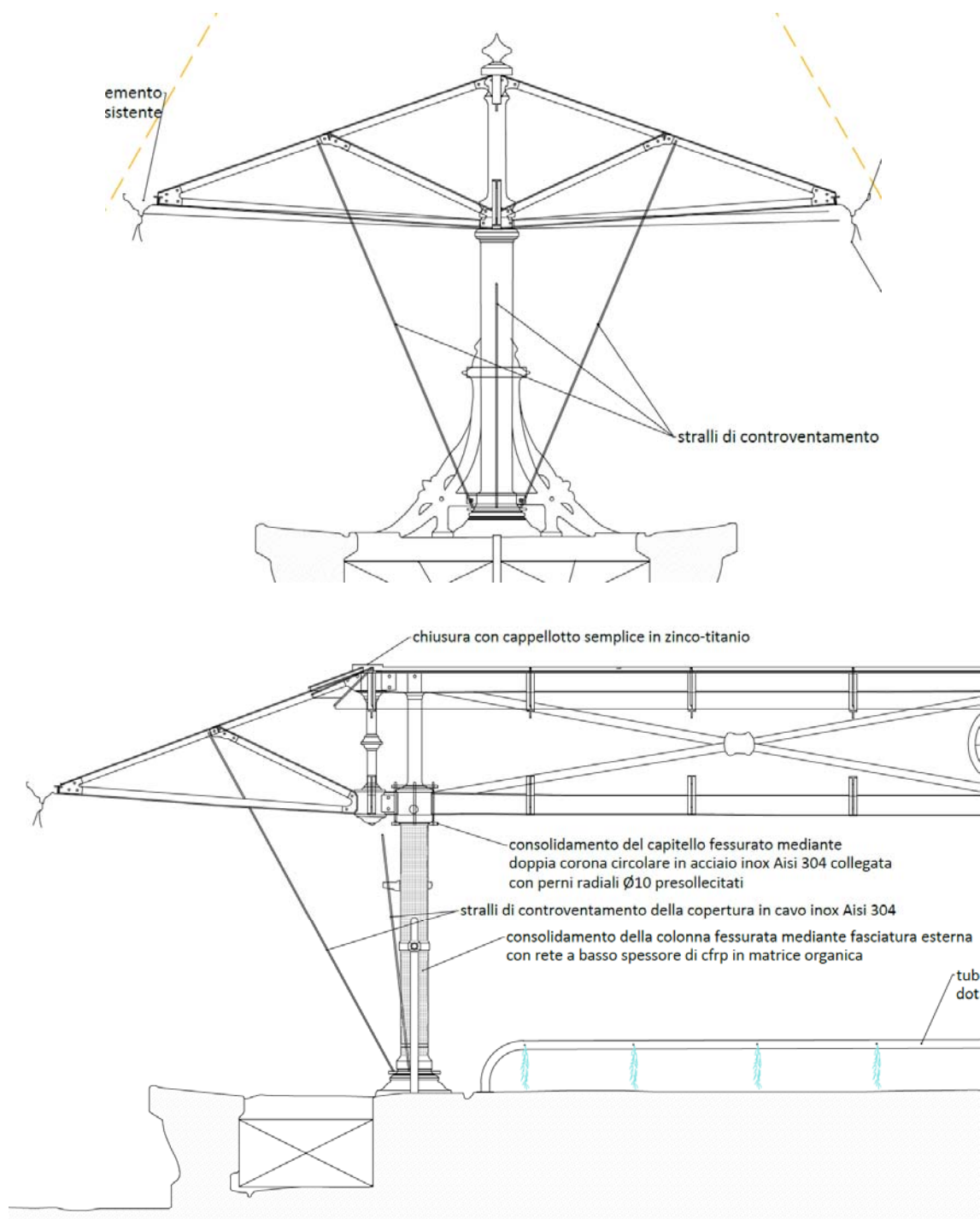
Alla luce degli esiti delle verifiche sopra sintetizzati si può confermare la necessità di un intervento di consolidamento delle strutture portanti della copertura, finalizzato a consentire il rispetto delle prescrizioni normative attuali.

4.5. PROGETTO DELL'INTERVENTO DI RINFORZO

Le 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:

- Installazione di nuovi tiranti di controventamento in fune metallica in corrispondenza della due colonne di imposta, secondo gli schemi grafici riportati nelle tavole di progetto.
- Installazione di un efficace sistema di contenimento e rinforzo del capitello fessurato della colonna ovest, secondo gli schemi grafici riportati nelle tavole di progetto.
- Rinforzo della colonna lesionata mediante fasciatura del fusto con sistema a basso spessore in rete bidirezionale cfrp in matrice organica;
- Verifica di tutti i nodi chiodati interelemento con eventuale sostituzione e/o integrazione degli elementi di giunzione (rivetti, chiodi, bulloni, piastre,...);
- Consolidamento della colonna in ghisa fessurata di lato Ovest mediante fasciatura in basso spessore con rete bidirezionale in cfrp applicata in matrice organica;
- Consolidamento del capitello fessurato sulla colonna di lato Ovest mediante confinamento verticale con doppia corona circolare in acciaio inox e perni presollecitati d.10mm;
- Verifica puntuale delle condizioni di degrado dei diversi elementi metallici che costituiscono la struttura portante con conseguente locale integrazione delle sezioni metalliche degradate

e/o non verificate mediante sostituzione e/o affiancamento con nuovi elementi di caratteristiche analoghe.



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:

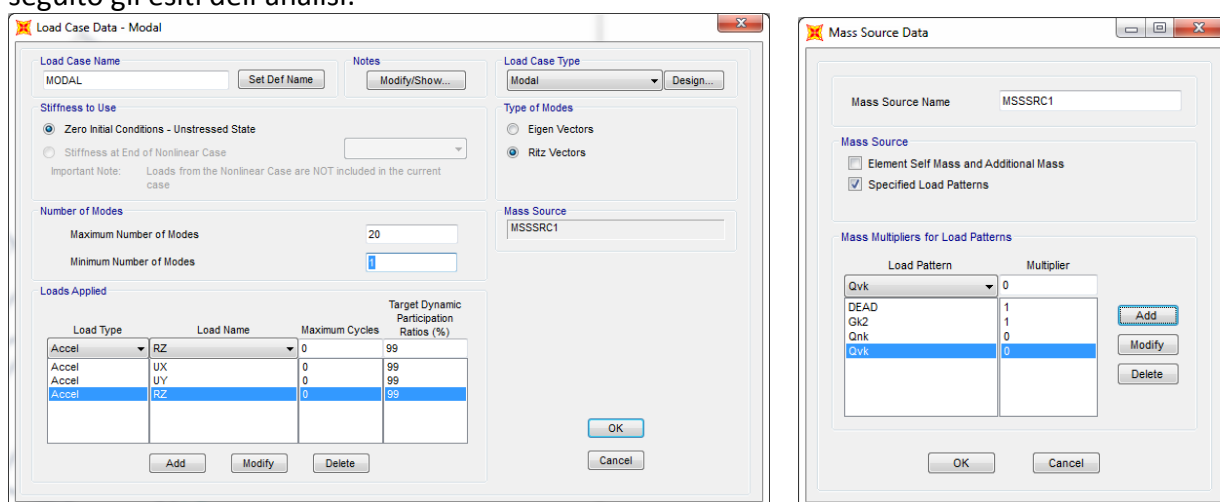
- Analisi delle frequenze proprie
- Analisi statica in combinazione fondamentale SLU
- Analisi statica in combinazione di esercizio rara SLE
- Analisi di instabilità

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:

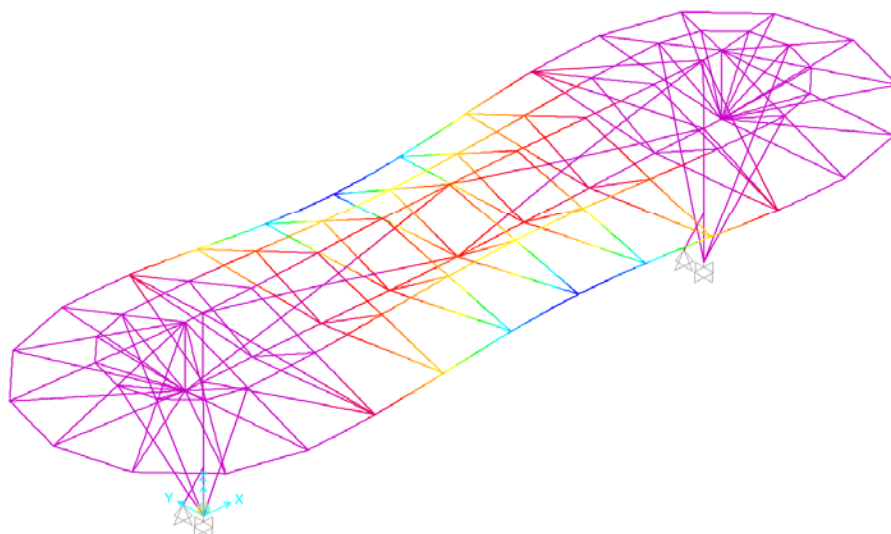
$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}.$$

Di seguito gli esiti dell'analisi:



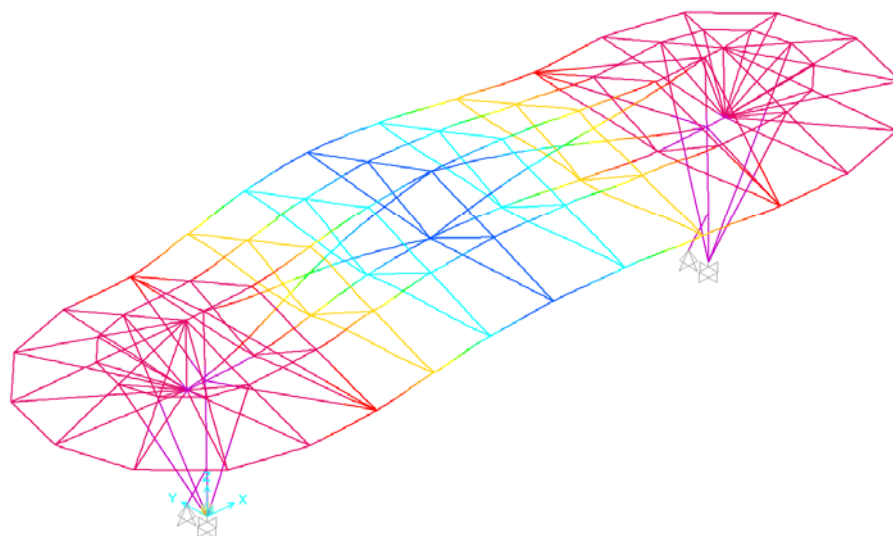
Parametri di analisi – Frequenze proprie struttura

Deformed Shape (MODAL) - Mode 1; T = 0.33501; f = 2.98499



Deformata di primo modo – torsione falde: T = 0.33 sec

Deformed Shape (MODAL) - Mode 2, T = 0.22394; f = 4.46542



Deformata di secondo modo –sbandamento falde: $T = 0.22\text{sec}$

L'introduzione dei controventi sulle colonne ed in falda riduce sensibilmente i periodi di vibrazione.

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

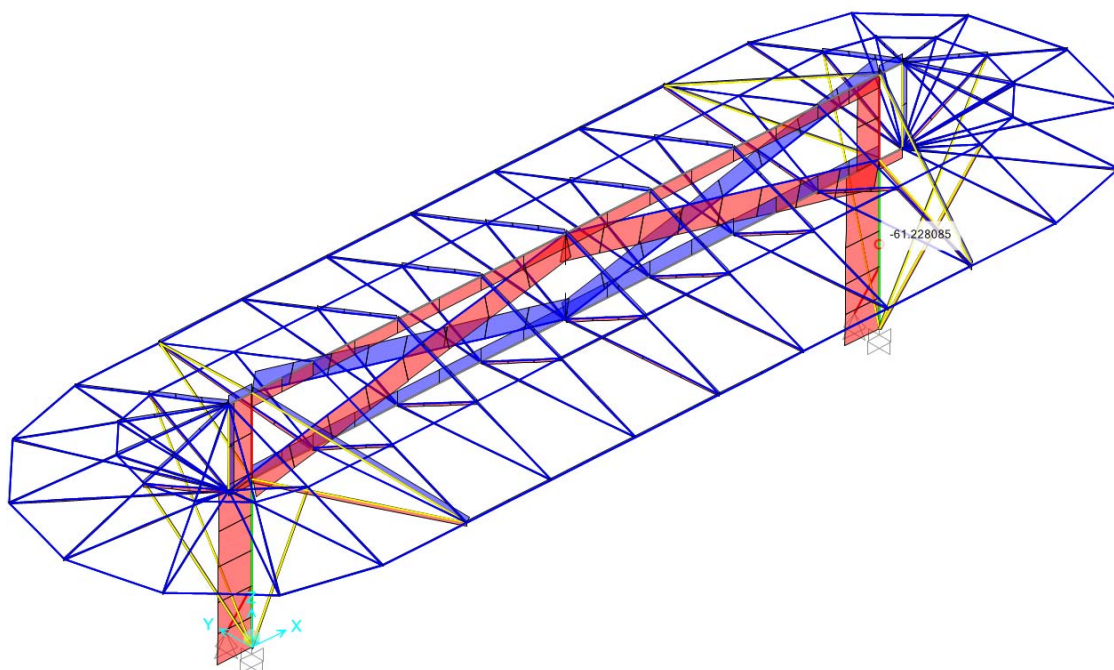
Load Combination Type

Options

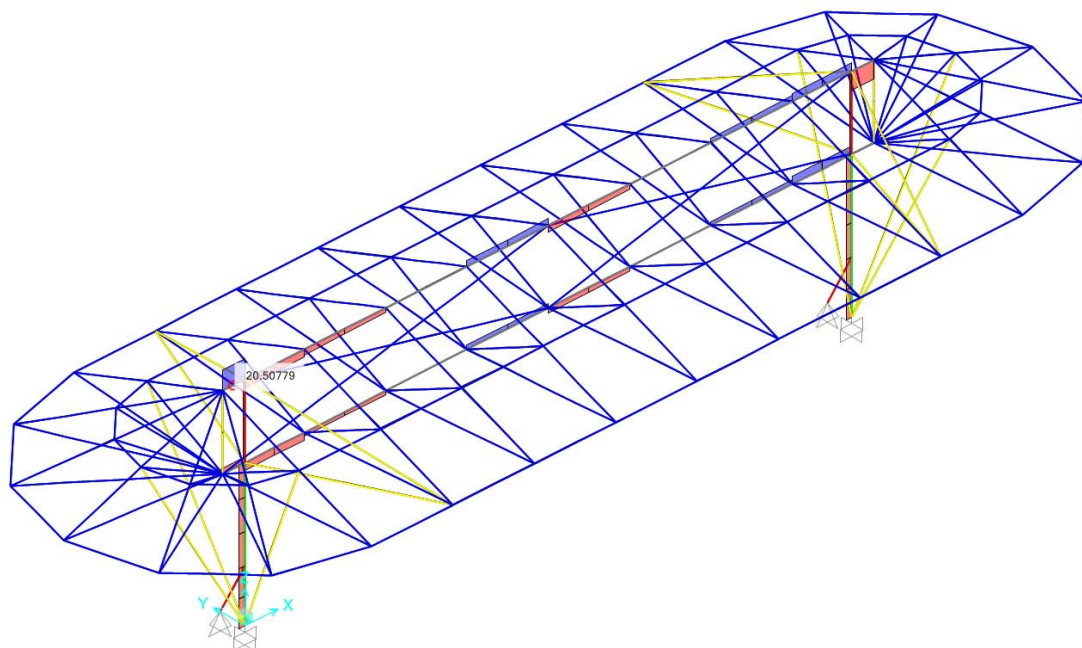
Define Combination of Load Case Results

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

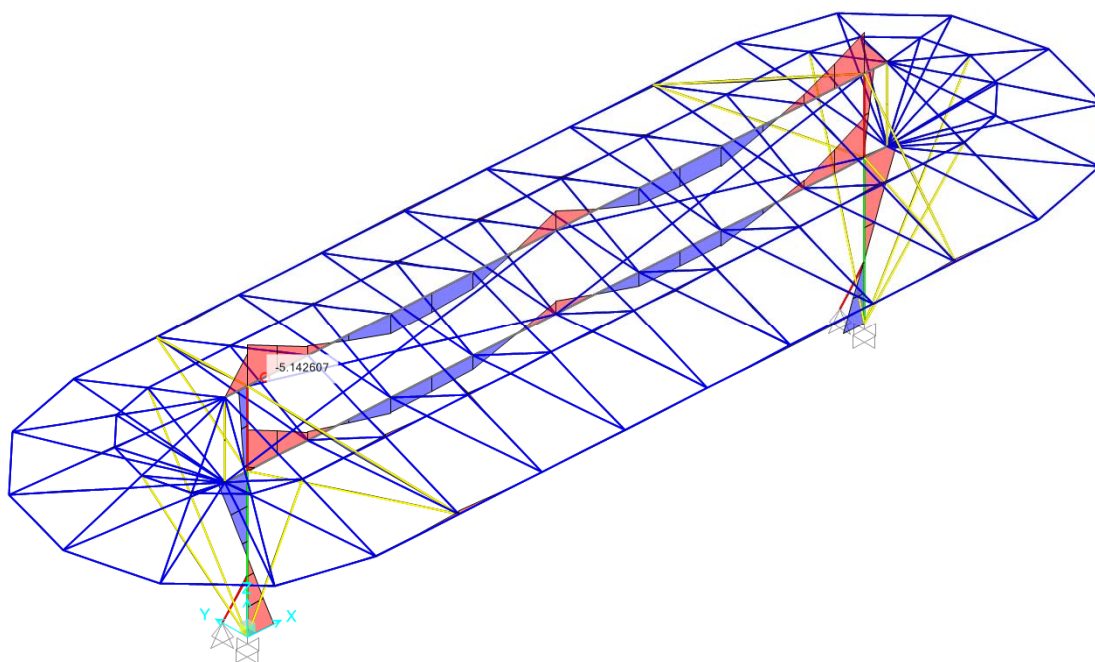
Si riporta di seguito una sintesi degli esiti ottenuti.



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

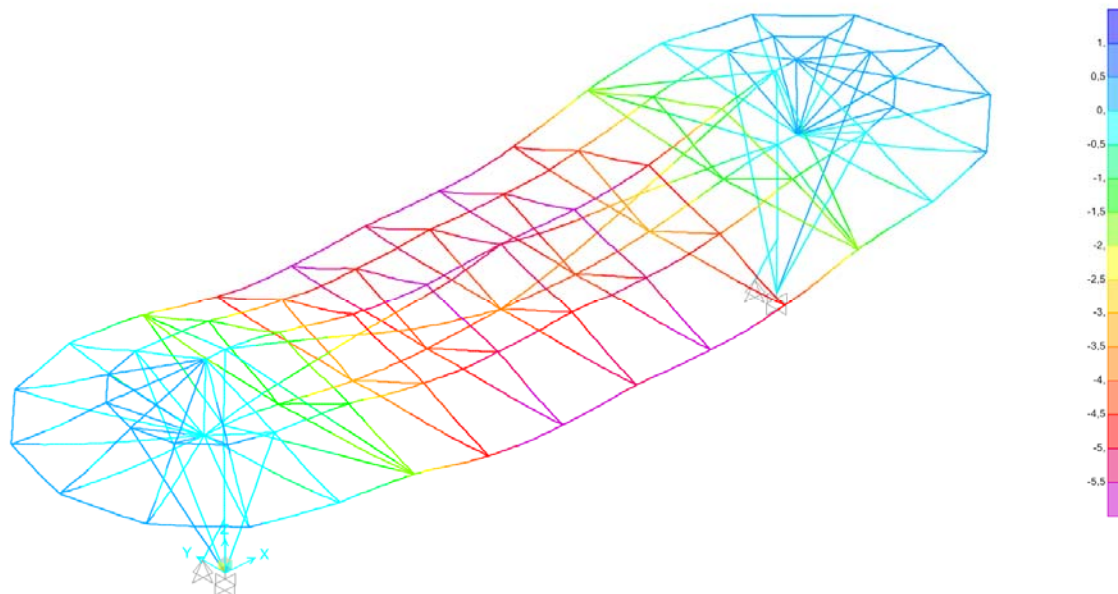
Load Combination Type Linear Add

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 6.5mm agli attuali 5.5mm.

Il rapporto freccia-luce risulta: $f/L = 1/1360$

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:

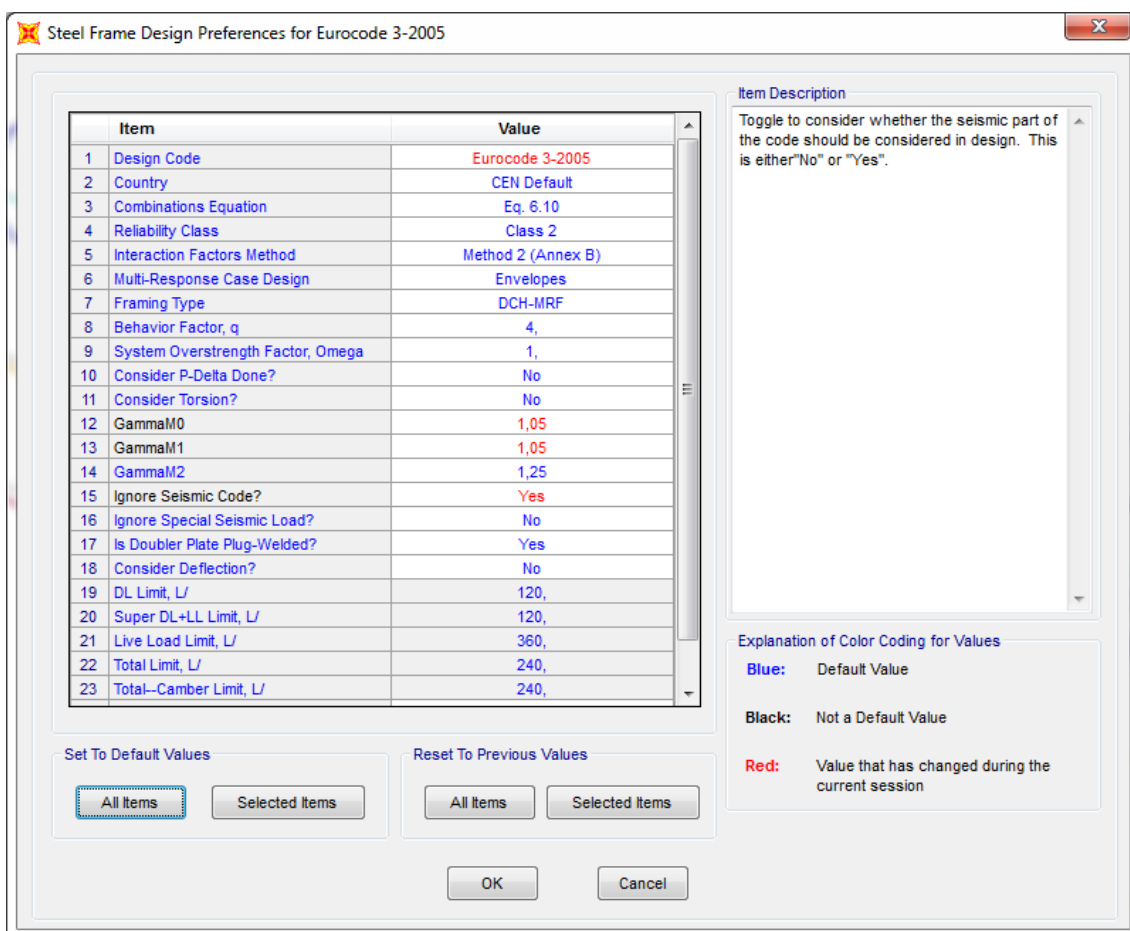
- strutture a telaio
- strutture con controventi concentrici
- strutture con controventi eccentrici

7.10.7 Strutture a controventi concentrici in CDB

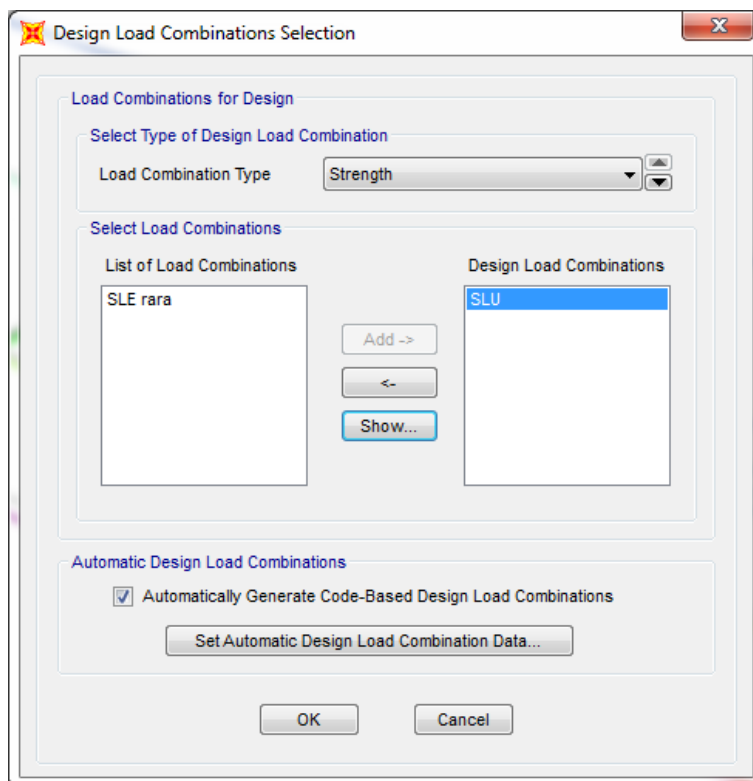
Le strutture a controventi concentrici in classe di duttilità bassa (CDB) possono essere calcolate unicamente in accordo all'EC3, senza prescrizioni aggiuntive.

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.



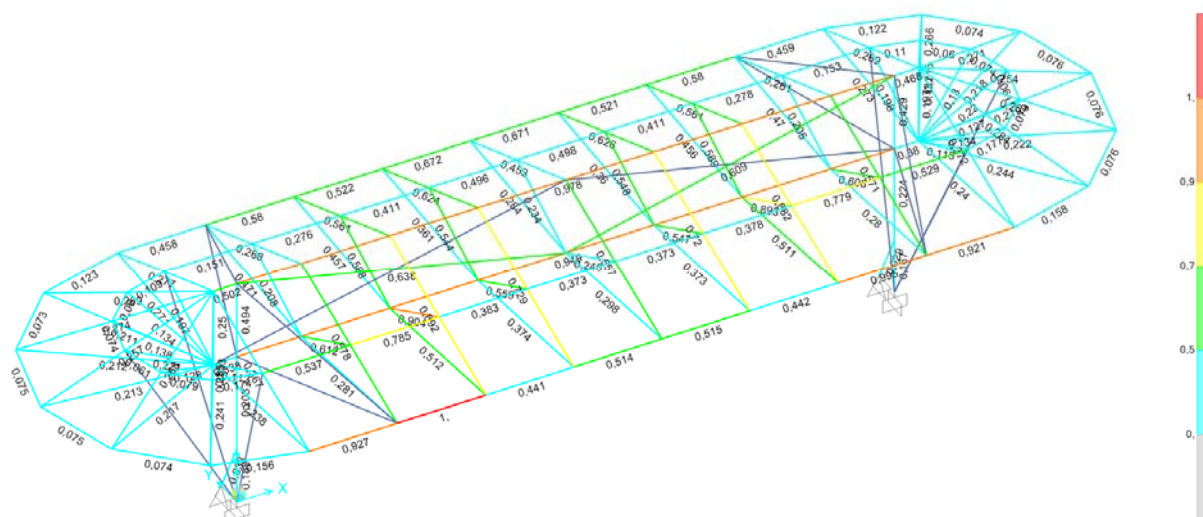
Impostazioni di verifica della struttura secondo la normativa EC03



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

Come è desumibile dalle mappature sopra riportate gli elementi risultano verificati.

Bergamo, 15/10/2018

Il progettista