



COMUNE DI SUBIACO
Piazza S. Andrea, 1
00028 ROMA



REGIONE LAZIO
Direzione Regionale Cultura
(Attuazione DRG 365 del 2016
"Sviluppo delle strutture culturali")

RESTAURO E RIFUNZIONALIZZAZIONE PER LA RIAPERTURA DEL TEATRO NARZIO



Progetto Architettonico ed Impiantistico:

Arch. Anelinda Di Muzio

Progetto Strutturale:

Ing. Valerio Orlandi

Progetto di Restauro delle facciate:

Arch. Serena Mercuri

Coordinamento per la sicurezza:

Arch. Domenico Bechis

Consulente per gli impianti meccanici: Ing. Marco Di Pietro

Consulente per l'impianto elettrico: Ing. Domenico Bonfà

Collaborazione: Arch. Ambra Troiani, Arch. Alessandra Vocaturo, Ing. Marco Corsetti

RUP: Arch. Daniele Cardoli

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONI

RELAZIONE AI SENSI DEL CAP. 10.2 NTC2018

ELABORATO

RE15

REV. N.	DATA :	DESCRIZIONE	SCALA	DATA
REV. N.	DATA :	DESCRIZIONE	-	DICEMBRE 2018

INDICE

1	TIPO ANALISI SVOLTA	1
2	TIPO DI ANALISI E MOTIVAZIONE.....	1
3	METODO DI RISOLUZIONE DELLA STRUTTURA	1
4	METODO DI VERIFICA SEZIONALE	1
5	COMBINAZIONI DI CARICO ADOTTATE.....	1
6	MOTIVAZIONE DELLE COMBINAZIONI E DEI PERCORSI DI CARICO	2
7	ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO	2
8	AFFIDABILITÀ DEI CODICI UTILIZZATI.....	2
9	VALIDAZIONE DEI CODICI.....	2
10	PRESENTAZIONE SINTETICA DEI RISULTATI.....	3
10.1	TABELLINA RIASSUNTIVA DELLE % MASSA ECCITATA.....	3
10.2	TABELLINA RIASSUNTIVA DELLE PUSHOVER ANTE E POST OPERAM.....	3
10.3	TABELLINA RIASSUNTIVA STRUTTURA DI SUPPORTO DELLA GRATICCIA DEL PALCO	3
10.3.1.1	Tabellina riassuntiva delle verifiche SLU.....	3
10.3.1.2	Tabellina riassuntiva delle verifiche SLE	4
10.4	TABELLA RIASSUNTIVA STRUTTURA SCALA TIPO A	4
10.4.1.1	Tabellina riassuntiva delle verifiche SLU.....	4
10.4.1.2	Tabellina riassuntiva delle verifiche SLE	4
10.5	TABELLA RIASSUNTIVA STRUTTURA SCALA TIPO B.....	4
10.5.1.1	Tabellina riassuntiva delle verifiche SLU.....	4
10.5.1.2	Tabellina riassuntiva delle verifiche SLE	4
11	INFORMAZIONI SULL' ELABORAZIONE	4
12	COMPARAZIONE DEI RISULTATI OTTENUTI CON LE DIVERSE CALCOLAZIONI.....	5
13	GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ	7

1 TIPO ANALISI SVOLTA

2 TIPO DI ANALISI E MOTIVAZIONE

L'analisi per le combinazioni delle azioni permanenti e variabili è stata condotta in regime elastico lineare.

Per quanto riguarda le azioni simiche, tenendo conto che per tali azioni si vogliono determinare le prestazioni in termini di capacità in spostamento e di danno per i vari stati limite previsti dalla norma si è reso necessario effettuare un insieme di analisi statiche non lineari incrementali modellando esplicitamente le caratteristiche non lineari degli elementi strutturali.

3 METODO DI RISOLUZIONE DELLA STRUTTURA

La struttura è stata modellata con il metodo degli elementi finiti utilizzando vari elementi di libreria specializzati per schematizzare i vari elementi strutturali.

Nel modello sono stati tenuti in conto i disassamenti tra i vari elementi strutturali schematizzandoli come vincoli cinematici rigidi. I vincoli tra i vari elementi strutturali e quelli con il terreno sono stati modellati in maniera congruente al reale comportamento strutturale.

I legami costitutivi utilizzati nelle analisi globali finalizzate al calcolo delle sollecitazioni sono del tipo elastico lineare.

4 METODO DI VERIFICA SEZIONALE

Le verifiche sono state condotte con il metodo degli stati limite (SLU e SLE) utilizzando i coefficienti parziali della normativa di cui al DM 17/01/2018.

Per le verifiche sezionali degli elementi in c.a. ed acciaio sono stati utilizzati i seguenti legami:

- Legame parabola rettangolo per il cls
- Legame elastico perfettamente plastico o incrudente a duttilità limitata per l'acciaio.

5 COMBINAZIONI DI CARICO ADOTTATE

Le combinazioni di calcolo considerate sono quelle previste dal DM 17/01/2018 per i vari stati limite e per le varie azioni e tipologie costruttive. In particolare, ai fini delle verifiche degli stati limite, sono state considerate le combinazioni delle azioni di cui al § 2.5.3 delle NTC 2018, per i seguenti casi di carico:

SLD	SI
SLV	SI

6 MOTIVAZIONE DELLE COMBINAZIONI E DEI PERCORSI DI CARICO

Il sottoscritto progettista ha verificato che le combinazioni prese in considerazione per il calcolo sono sufficienti a garantire il soddisfacimento delle prestazioni sia per gli stati limite ultimi che per gli stati limite di esercizio.

Le combinazioni considerate ai fini del progetto tengono infatti in conto le azioni derivanti dai pesi propri, dai carichi permanenti, dalle azioni variabili, dalle azioni termiche e dalle azioni sismiche combinate utilizzando i coefficienti parziali previsti dalle NTC 2018 per le prestazioni di SLU ed SLE.

In particolare per le azioni sismiche si sono considerati i percorsi di carico di tipo affine come descritti precedentemente. Tale insieme di percorsi di carico risultano scelti in modo da avere informazioni adeguate sulla risposta non lineare della struttura in tutte le direzioni ed in tutte le condizioni, ovvero sia nello stato integro che nello stato finale vicino al collasso.

7 ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO

Produttore	S.T.S. srl
Titolo	CDSWin
Versione	Rel. 2018
Nro Licenza	8160

Ragione sociale completa del produttore del software:

S.T.S. s.r.l. Software Tecnico Scientifico S.r.l.

**Via Tre Torri n°11 – Complesso Tre Torri
95030 Sant'Agata li Battiati (CT).**

8 AFFIDABILITÀ DEI CODICI UTILIZZATI

L'affidabilità del codice utilizzato e la sua idoneità al caso in esame, è stata attentamente verificata sia effettuando il raffronto tra casi prova di cui si conoscono i risultati esatti sia esaminando le indicazioni, la documentazione ed i test forniti dal produttore stesso.

La S.T.S. s.r.l., a riprova dell'affidabilità dei risultati ottenuti, fornisce direttamente on-line i test sui casi prova liberamente consultabili all' indirizzo:

<http://www.stsweb.it/STSWeb/ITA/homepage.htm>

9 VALIDAZIONE DEI CODICI

L' opera in esame non è di importanza tale da necessitare un calcolo indipendente eseguito con altro software da altro calcolista

10 PRESENTAZIONE SINTETICA DEI RISULTATI

Una sintesi del comportamento della struttura è consegnata nelle tabelle di sintesi dei risultati, riportate in appresso, e nelle rappresentazioni grafiche allegate in coda alla presente relazione in cui sono rappresentate le principali grandezze (deformate, sollecitazioni, etc..) per le parti piu' sollecitate della struttura in esame.

10.1 Tabellina Riassuntiva delle % Massa Eccitata

Il numero dei modi di vibrare considerato (12) ha permesso di mobilitare le seguenti percentuali delle masse della struttura, per le varie direzioni:

DIREZIONE	% MASSA
X	100
Y	100
Z	0

10.2 Tabellina riassuntiva delle PushOver ante e post operam

Numero PushOver	PgaSLV/Pga10% ANTE OPERAM	PgaSLV/Pga10% POST OPERAM	VARIAZIONE PgaSLV
1	0.591	0.603	2.03%
2	0.623	0.623	0.00%
3	0.542	0.558	2.95%
4	0.555	0.556	0.18%
5	0.723	0.723	0.00%
6	0.768	0.769	0.13%
7	0.681	0.684	0.44%
8	0.729	0.729	0.00%
9	0.588	0.589	0.17%
10	0.628	0.636	1.27%
11	0.514	0.522	1.56%
12	0.552	0.554	0.36%
13	0.748	0.749	0.13%
14	0.761	0.764	0.39%
15	0.724	0.726	0.28%
16	0.651	0.653	0.31%

10.3 Tabellina riassuntiva struttura di supporto della graticcia del palco

10.3.1.1 Tabellina riassuntiva delle verifiche SLU

Tipo di Elemento	Non Verif/Totale	STATUS
------------------	------------------	--------

Aste in Acciaio	0 su 138	VERIFICATO
-----------------	----------	------------

10.3.1.2 Tabellina riassuntiva delle verifiche SLE

Tipo di Elemento	Non Verif/Totale	STATUS
Aste in Acciaio	0 su 138	VERIFICATO

10.4 Tabella riassuntiva struttura scala tipo A

10.4.1.1 Tabellina riassuntiva delle verifiche SLU

Tipo di Elemento	Non Verif/Totale	STATUS
Aste in Acciaio	0 su 43	VERIFICATO

10.4.1.2 Tabellina riassuntiva delle verifiche SLE

Tipo di Elemento	Non Verif/Totale	STATUS
Aste in Acciaio	0 su 43	VERIFICATO

10.5 Tabella riassuntiva struttura scala tipo B

10.5.1.1 Tabellina riassuntiva delle verifiche SLU

Tipo di Elemento	Non Verif/Totale	STATUS
Aste in Acciaio	0 su 39	VERIFICATO

10.5.1.2 Tabellina riassuntiva delle verifiche SLE

Tipo di Elemento	Non Verif/Totale	STATUS
Aste in Acciaio	0 su 39	VERIFICATO

11 INFORMAZIONI SULL' ELABORAZIONE

Il software è dotato di propri filtri e controlli di autodiagnostica che intervengono sia durante la fase di definizione del modello sia durante la fase di calcolo vero e proprio.

In particolare il software è dotato dei seguenti filtri e controlli:

Filtri per la congruenza geometrica del modello generato

Controlli a priori sulla presenza di elementi non connessi, interferenze, mesh non congruenti o non adeguate.

Filtri sulla precisione numerica ottenuta, controlli su labilità o eventuali mal condizionamenti delle matrici, con verifica dell'indice di condizionamento.

Controlli sulla verifiche sezionali e sui limiti dimensionali per i vari elementi strutturali in funzione della normativa utilizzata.

Controlli e verifiche sugli esecutivi prodotti.

Rappresentazioni grafiche di post-processo che consentono di evidenziare eventuali anomalie sfuggite all' autodiagnostica automatica.

In aggiunta ai controlli presenti nel software si sono svolti appositi calcoli su schemi semplificati, che si riportano nel seguito, che hanno consentito di riscontrare la correttezza della modellazione effettuata per la struttura in esame.

12 COMPARAZIONE DEI RISULTATI OTTENUTI CON LE DIVERSE CALCOLAZIONI

Di seguito si riportano le verifiche effettuate con metodi semplificati, relative alla trave reticolare 1 della struttura di supporto della graticcia.

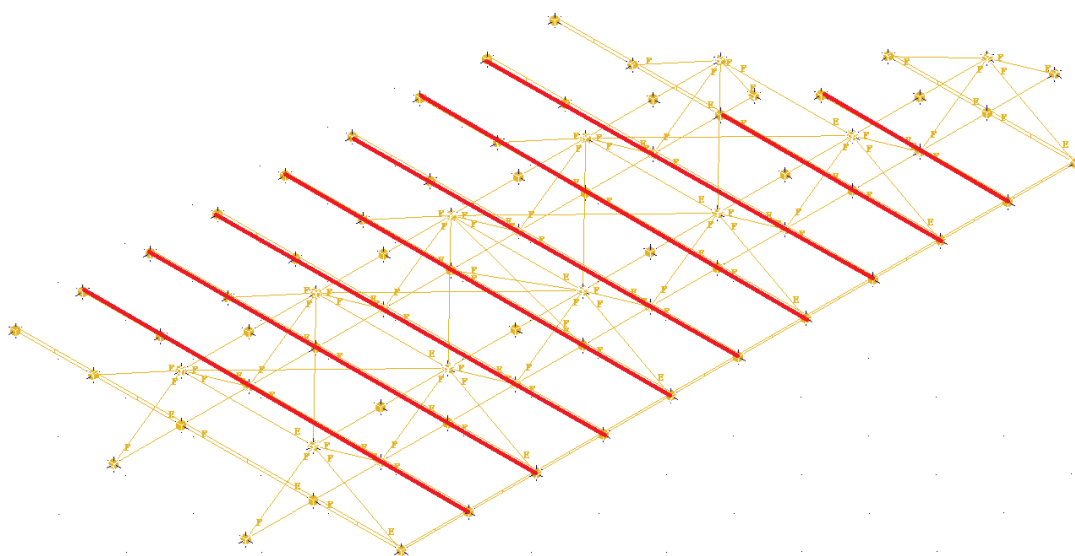
Azioni sulla struttura

Le azioni sono state applicate direttamente sulle travi IPE100 poste trasversalmente alle reticolari ad un interasse massimo di 100 cm. Su tali travi è stato applicato un carico uniformemente ripartito su unità di lunghezza pari a

Permanente non strutturale = 100 daN/ml

Accidentale = 300 daN/ml

Condizione di carico n°3

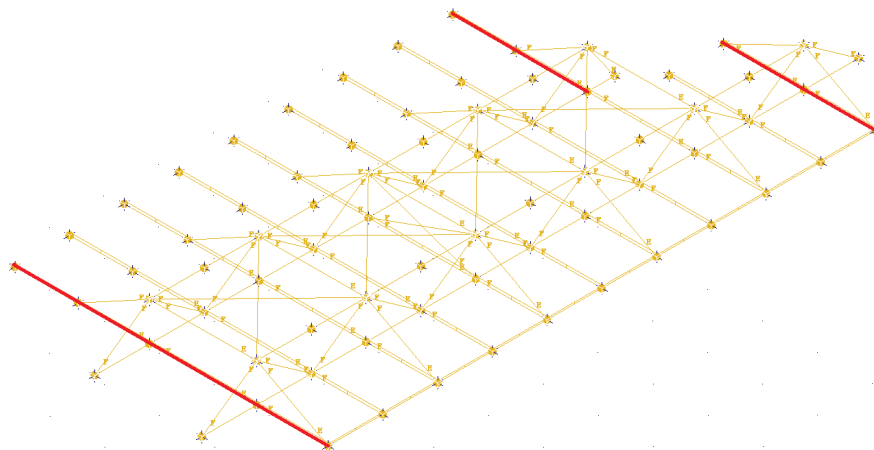


Sulle travi IPE 100 poste adiacenti alle pareti perimetrali, a causa di un possibile incremento dei carichi accidentali tale carico è stato maggiorato come di seguito:

Permanente non strutturale = 100 daN/ml

Accidentale = 400 daN/ml

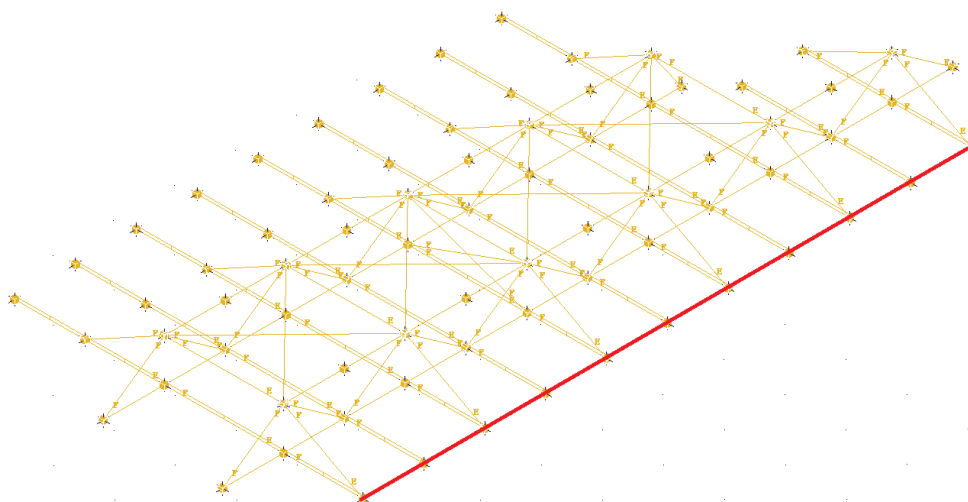
Condizione di carico n°3



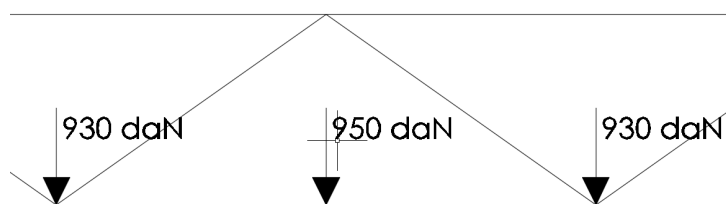
Sulle travi UPN100 poste in corrispondenza della punta dello sbalzo è stato applicato un carico su unità di lunghezza pari a:

Accidentale = 150 daN/ml

Condizione di carico n°4



Verifica a flessione retta - corrente inferiore – trave 2UPN 100



$$M_{ed} = 475 \text{ daNm}$$

$$M_{c,Rd} = W_{pl} \times f_{yk} / \gamma_{M0}$$

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

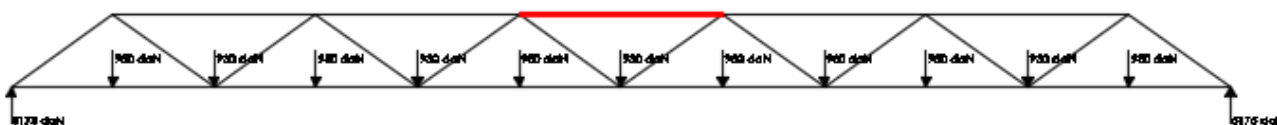
$$W_{pl} = 2 \times 49\,98 \text{ cm}^3$$

$$f_{yk} = 2750 \text{ daN/cm}^2$$

$$M_{c,Rd} = 256667 \text{ daN cm} = 2566 \text{ daN m}$$

$$M_{ed} / M_{c,Rd} = 0,185 < 1 \quad \underline{\text{verificato}}$$

Verifica stabilità asta compressa della reticolare – corrente superiore



$$N_{ed} = 44357 \text{ daN}$$

$$N_{b,Rd} = \chi \times A \times f_{yk} / \gamma_{M1}$$

$$\chi = 0.766$$

$$\phi = 0.806$$

$$\lambda = 0.633$$

$$N_{b,Rd} = 54167$$

$$N_{ed} / N_{b,Rd} = 0,81 < 1$$

13 GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ

Il software utilizzato ha permesso di modellare analiticamente il comportamento fisico della struttura utilizzando la libreria disponibile di elementi finiti.

Le funzioni di visualizzazione ed interrogazione sul modello hanno consentito di controllare sia la coerenza geometrica che la adeguatezza delle azioni applicate rispetto alla realtà fisica.

Inoltre la visualizzazione ed interrogazione dei risultati ottenuti dall'analisi quali: sollecitazioni, tensioni, deformazioni, spostamenti e reazioni vincolari, hanno permesso un immediato controllo di tali valori con i risultati ottenuti mediante schemi semplificati della struttura stessa.

Si è inoltre riscontrato che le reazioni vincolari sono in equilibrio con i carichi applicati, e che i valori dei taglianti di base delle azioni sismiche sono confrontabili con gli omologhi valori ottenuti da modelli SDOF semplificati.

Sono state inoltre individuate un numero di travi ritenute significative e, per tali elementi, è stata effettuata una apposita verifica a flessione e taglio.

Le sollecitazioni fornite dal solutore per tali travi, per le combinazioni di carico indicate nel tabulato di verifica del CDSWin, sono state validate effettuando gli equilibri alla rotazione e traslazione delle dette travi, secondo quanto meglio descritto nel calcolo semplificato, allegato alla presente relazione.

Si sono infine eseguite le verifiche di tali travi con metodologie semplificate e, confrontandole con le analoghe verifiche prodotte in automatico dal programma, si è potuto riscontrare la congruenza di tali risultati con i valori riportati dal software.

Si è inoltre verificato che tutte le funzioni di controllo ed autodiagnostica del software abbiano dato tutte esito positivo.

Da quanto sopra esposto si può quindi affermare che il calcolo è andato a buon fine e che il modello di calcolo utilizzato è risultato essere rappresentativo della realtà fisica, anche in funzione delle modalità e sequenze costruttive.